

**Universidad de El Salvador  
Facultad de Ciencias Agronómicas  
Escuela de Posgrado y Educación Continua**

**Programa de Posgrado en Agronomía Tropical Sostenible**



**Evaluación de propiedades físicas, químicas e hidrológicas en suelos manejados con maíz (*Zea mays*) y cinco programas de fertilización, La Montañona, Chalatenango, El Salvador**

**Licda. Brenda Roxana García Rivera**

**Tesis**

**Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:  
Maestra en Ciencias en Gestión Integral del Agua**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2020.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL:**

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DECANO:**

Dr. FRANCISCO LARA ASCENCIO

**SECRETARIO:**

Ing. BALMORE MARTINEZ SIERRA

Este Proyecto de Investigación fue realizado bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestra en Gestión Integral del Agua**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2020**

**Tribunal Evaluador de Tesis**

---

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia  
Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Licda. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares  
Secretaria del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. M. Sc. Marcia Lizeth Barrera de Calderón  
Vocal del Tribunal Evaluador de Tesis y  
Coordinadora de la Maestría en Ciencias en Gestión Integral del Agua

---

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez  
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Este Proyecto de Investigación contó con la **Asesoría Externa** del Dr. Sean Patrick Kearney a quien expreso mi más sincero agradecimiento por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia durante la etapa de campo como en la redacción del documento final. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

---

Dr. Sean Patrick Kearney  
Faculty of Land and Food Systems Vancouver Campus, Canadá

## **Agradecimientos**

A Dios, por darme sabiduría y perseverancia para lograr una de las metas propuestas en mi vida; ante los obstáculos, me lleno de fe y determinación.

Al Dr. Reynaldo López Landaverde por todos sus aportes durante todo el proceso de esta investigación.

A mis asesores, Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ada Yanira Arias de Linares y Marcia de Calderón, por su apoyo incondicional y dedicación para ayudarme a terminar este trabajo.

Al programa LACREG, por el apoyo económico brindado en todo el proceso de la investigación.

The University of British Columbia, Vancouver, BC Canadá, por todo el apoyo brindado durante el proceso de esta investigación.

A la escuela de posgrado y educación continua de la Facultad de Ciencias Agronómicas de La Universidad de El Salvador, a la Facultad de Ciencias agronómicas y el departamento de Química Agrícola.

A los estudiantes de la Facultad de Ciencias Agronómicas José Reynaldo Hernández, Rigoberto Urías y Rafael Castro por acompañarme en la recolección de datos en campo y en el laboratorio de la Facultad.

A los productores Miguel Ardón, José Oscar, Atanacio Cruz, Juan Ramón, Gerónimo Molina, Ricardo Rodríguez, Israel Guzmán y Santos Iraheta por haber facilitado sus parcelas, brindar sus experiencias y ayuda en el desarrollo de la investigación.

## **Dedicatoria**

A mis padres Ángela Rivera de García y Marco Antonio García, por todo su apoyo durante toda mi formación académica.

A mis hermanas Isabel, Reyna Marisol y Carmen Elena García Rivera, por el apoyo brindado siempre.

A mi querido esposo José Reynaldo Hernández, por su ayuda en las actividades de campo y laboratorio y darme ánimos para culminar este proceso, y a mi hijo Danilo Antonio, quien es mi fuente de inspiración y superación personal y profesional.

A mi cuñado Manuel Antonio Hernández Segura por todo su apoyo y animarme a culminar mi Maestría.

## Índice

	<b>Página</b>
I. Resumen.....	1
II. Introducción .....	3
III. Planteamiento del Problema.....	5
IV. Objetivos .....	6
4.1.    Objetivo General .....	6
4.2.    Objetivos Específicos .....	6
V. Marco Teórico Conceptual.....	7
5.1.    La agricultura en El Salvador.....	7
5.2.    Características de la mancomunidad La Montañona.....	7
5.3.    Formaciones geológicas en la zona de La Montañona.....	8
5.4.    Propiedades físicas del suelo.....	10
5.4.1.    Textura.....	11
5.4.2.    Densidad aparente.....	12
5.4.3.    Estructura.....	13
5.4.4.    Porosidad .....	14
5.4.5.    Permeabilidad .....	14
5.5.    Propiedades químicas del suelo.....	15
5.6.    El agua del suelo .....	16
5.7.    Infiltración .....	18
5.8.    Agroforestería.....	20
5.9.    Árboles en asocio con cultivos anuales.....	20
5.10.    Fertilidad del suelo .....	21
5.11.    Composición del suelo y las plantas .....	23
5.12.    Los fertilizantes aumentan el rendimiento de los cultivos .....	26
5.13.    Los abonos orgánicos mejoran la eficiencia de los fertilizantes .....	26
5.14.    Cultivo del maíz .....	26
VI. Metodología .....	32
6.1.    Ubicación geográfica.....	32

6.2.	Materiales y Equipo .....	33
6.3.	Metodología de campo .....	33
6.4.	Diseño estadístico.....	34
6.4.1.	Establecimiento de las parcelas de muestreo.....	37
6.5.	Análisis químico del suelo .....	39
6.5.1.	Determinación de fósforo (P), potasio (K), calcio( Ca )y magnesio (Mg).....	39
6.5.2.	Determinación de calcio (Ca ) potasio (K), y magnesio (Mg) .....	40
6.5.3.	Determinación de Zinc (Zn) y cobre (Cu).....	40
6.5.4.	Determinación de la materia orgánica por medio de Walkey Black .....	40
6.6.	Análisis de parámetros físicos del suelo .....	42
6.6.1.	Determinación de la textura.....	42
6.6.2.	Determinación de la densidad aparente .....	43
6.6.3.	Prueba de permeabilidad .....	44
6.6.4.	Prueba de infiltración.....	45
6.7.	Medición de la precipitación .....	46
6.8.	Procedimiento para monitorear la morfología de las plantas .....	46
6.9.	Área de muestreo de la cosecha .....	47
6.10.	Cosecha del maíz.....	47
6.10.1.	Humedad del grano .....	47
VII.	Discusión de Resultados .....	48
7.1.	Resultados del análisis de suelo .....	48
7.1.1.	pH .....	48
7.1.2.	Fósforo.....	49
7.1.3.	Potasio .....	50
7.1.4.	Calcio.....	51
7.1.5.	Magnesio .....	52
7.1.6.	Zinc.....	53
7.1.7.	Cobre .....	54
7.2.	Textura del suelo .....	55
7.3.	Densidad Aparente .....	55
7.4.	Permeabilidad.....	57



7.5.	Infiltración.....	57
7.6.	Producción de maíz.....	58
7.6.1.	Precipitación en la zona de estudio.....	61
7.7.	Diámetro de las plantas.....	64
7.8.	Número de hojas por planta de maíz.....	66
7.9.	Altura de las plantas de maíz.....	68
VIII.	Conclusiones.....	70
IX.	Recomendaciones.....	72
X.	Bibliografía.....	73
XI.	Anexos.....	78

## Índice de cuadros

	<b>Página</b>
CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ H-59. ....	27
CUADRO 2. LABORES CULTURALES DEL MAÍZ.....	28
CUADRO 3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS PARCELAS CON MAÍZ EN NICARAGUA.....	29
CUADRO 4. TRATAMIENTOS QUE SE UTILIZARON EN LA INVESTIGACIÓN .....	36
CUADRO 5. DOSIS DE FERTILIZANTES APLICADOS POR FINCA EN EL TRATAMIENTO 3 (T3), SEGÚN LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELO. ....	36
CUADRO 6. RESULTADOS DE PH SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO.....	48
CUADRO 7. RESULTADOS DE FÓSFORO SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO.....	49
CUADRO 8. RESULTADOS DE POTASIO SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO.....	51
CUADRO 9. RESULTADOS DE CALCIO SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO .....	52
CUADRO 10. RESULTADOS DE MAGNESIO SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO.....	53
CUADRO 11. RESULTADOS DE ZINC SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO. ....	54
CUADRO 12. RESULTADOS DE ZINC SEGÚN LOS ANÁLISIS DE SUELO. ....	55
CUADRO 13. COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE CON LA HUMEDAD DEL SUELO.....	56
CUADRO 14. PERMEABILIDAD DEL SUELO EN LAS PARCELAS DE MUESTREO.....	57
CUADRO 15. INFILTRACIÓN EN LAS PARCELAS DE MUESTREO.....	58
CUADRO 16. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA COSECHA DE MAÍZ EN QQ/MZ. ....	61
CUADRO 17. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA COSECHA DE MAÍZ EN QQ/MZ EN CADA FINCA.....	61
CUADRO 18. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DIÁMETRO DEL TALLO DE LAS PLANTAS POR TRATAMIENTO. ....	65
CUADRO 19. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DIÁMETRO DEL TALLO DE LAS PLANTAS EN LAS 8 FINCAS. ....	66
CUADRO 20. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL NÚMERO DE HOJAS POR TRATAMIENTO.....	67
CUADRO 21. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL NÚMERO DE HOJAS POR PLANTA DE MAÍZ EN LAS 8 FINCAS. ....	68

## Índice de figuras

	<b>Página</b>
FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MONTAÑONA, CHALATENANGO, EL SALVADOR. ....	8
FIGURA 2. MAPA DE FORMACIONES GEOLÓGICAS DE LA MONTAÑONA, CHALATENANGO.....	10
FIGURA 3. CURVA DE RESPUESTA A RENDIMIENTOS TÍPICOS EN EL NIVEL DE SUFICIENCIA Y NIVEL CRÍTICO. ....	25
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DEL RENDIMIENTO DE MAÍZ (USAID ET AL 2014).....	30
FIGURA 5. CAUSAS DE LA PERDIDA DE LA COSECHA DE MAÍZ (USAID ET AL 2014). ....	31
FIGURA 6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MANCOMUNIDAD LA MONTAÑONA, CHALATENANGO. ....	32
FIGURA 7. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PARCELAS. ....	34
FIGURA 8. PARCELAS Y SUB PARCELAS PARA CADA TRATAMIENTO. ....	34
FIGURA 9. PARCELAS EXPERIMENTALES Y ÁREA DE MUESTREO (SEAN KERNEY 2015). ....	38
FIGURA 10. MEDICIÓN DE LA PARCELA PARA UBICAR LOS TRATAMIENTOS. ....	38
FIGURA 11. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA DEL SUELO EN LABORATORIO. ....	43
FIGURA 12. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS DE DENSIDAD APARENTE. ....	44
FIGURA 13. TOMA DE DATOS DE PERMEABILIDAD CON EL PERMEÁMETRO DE GUELP.....	45
FIGURA 14. TOMA DE DATOS EN LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN.....	46
FIGURA 15. TOMA DE DATOS DE LLUVIA CON EL PLUVIÓMETRO.....	46
FIGURA 16. CONTENIDO DE MAGNESIO EN EL SUELO EN LAS 8 FINCAS MUESTREADAS.....	50
FIGURA 17. CONTENIDO DE POTASIO EN EL SUELO EN LAS 8 FINCAS MUESTREADAS. ....	51
FIGURA 18. CONTENIDO DE CALCIO EN EL SUELO EN LAS 8 FINCAS MUESTREADAS.....	52
FIGURA 19. CONTENIDO DE MAGNESIO EN EL SUELO EN LAS 8 FINCAS MUESTREADAS.....	53
FIGURA 20. CONTENIDO DE ZINC EN EL SUELO EN LAS 8 FINCAS MUESTREADAS. ....	54
FIGURA 21. RENDIMIENTO EN QUINTALES POR MANZANA EN LOS 6 TRATAMIENTOS. ....	59
FIGURA 22. RENDIMIENTO EN QUINTALES POR MANZANA EN LAS 8 FINCAS.....	60
FIGURA 23. PRECIPITACIÓN POR DÍA EN LAS VUELTAS PARA EL AÑO 2015 .....	62
FIGURA 24. PRECIPITACIÓN POR DÍA EN GUARJILA PARA EL AÑO 2015 .....	63
FIGURA 25. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DIÁMETRO DEL TALLO POR TRATAMIENTO.....	64
FIGURA 26. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DIÁMETRO DEL TALLO EN LAS 8 FINCAS.....	65
FIGURA 27. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL NÚMERO DE HOJAS EN LOS 6 TRATAMIENTOS.....	66
FIGURA 28. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL NÚMERO DE HOJAS EN LAS 8 FINCAS. ....	67
FIGURA 29. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ALTURA DE PLANTAS POR TRATAMIENTO. ....	68
FIGURA 30. ANÁLISIS DE VARIANZA DE ALTURA DE PLANTAS EN LAS 8 FINCAS. ....	69

## Índice de Anexos

	<b>Página</b>
ANEXO 1. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 1. ....	78
ANEXO 2. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 2.....	78
ANEXO 3. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 3.....	78
ANEXO 4. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 4.....	79
ANEXO 5. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 5.....	79
ANEXO 6. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 6.....	79
ANEXO 7. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 7.....	80
ANEXO 8. TEXTURA DEL SUELO EN LA FINCA 8.....	80
ANEXO 9. PROMEDIO DE DENSIDAD APARENTE.....	80
ANEXO 10. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELO EN LAS PARCELAS EXPERIMENTALES .....	81
ANEXO 11. BOLETA DE CAMPO PARA MEDIR LA INFILTRACIÓN.....	83
ANEXO 12. BOLETA DE CAMPO PARA MEDIR LA HUMEDAD DEL SUELO.....	83
ANEXO 13. BOLETA DE CAMPO PARA MEDIR LA PERMEABILIDAD DEL SUELO.....	84
ANEXO 14. CICLO MORFOLÓGICO DEL CULTIVO DE MAÍZ. ....	85
ANEXO 15. FICHA DE CAMPO PARA RECOLECTAR LA COSECHA DE MAÍZ.....	86

## I. Resumen

La investigación se realizó en los municipios de Las Vueltas, La Laguna y Chalatenango (cantones de Guarjila y Upatoro), en la región de la Mancomunidad La Montañona, en el departamento de Chalatenango, en el periodo de mayo a noviembre 2015, dentro del área de trabajo del proyecto Canadá-Latin America and The Caribbean Research Exchange Grants (LAGREG), en ocho parcelas cultivadas con maíz (*Zea mays*) variedad H59, dos parcelas se ubicaron en Las Vueltas, dos en Guarjila, dos en Upatoro y dos parcelas en La Laguna. En cada parcela se realizaron análisis químico del suelo y de sus propiedades físicas.

El objetivo de la investigación fue evaluar las características físicas e hídricas del suelo y el efecto de cinco niveles de fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz. Se usó un modelo estadístico de Bloques al Azar, en ocho parcelas, con 48 repeticiones, los tratamientos fueron: tratamiento 1 se aplicó a cada planta una mezcla de 8.30 gramos de fórmula 15-15-15 más 13.40 g de Sulfato de amonio; en el tratamiento 2 se aplicó a cada planta lo mismo del tratamiento 1 más 1.30 g de Cloruro de potasio; en el tratamiento 3 las dosis de fertilizantes se aplicaron según los resultados de los análisis de suelo de cada una de las ocho parcelas; en el tratamiento 4 se aplicó a cada planta 2.10 g de fórmula 15-15-15, 3.30 g de Sulfato de amonio y 62.50 g de Bocashi; en el tratamiento 5 se aplicó a cada planta 125 g de Bocashi; y un Testigo en el cual no se aplicó ningún fertilizante.

Todos los suelos de las parcelas donde se realizó la investigación presentan un pH óptimo para el cultivo; la textura varió entre franco arenosa y franco arcillo arenosa; una densidad entre 1.19 g/cm<sup>3</sup> a 1.57 g/cm<sup>3</sup>. La mayor producción de maíz se obtuvo con el tratamiento 4 que rindió 42.92 qq/mz (2,786.54 kg/ha) y la menor producción fue con el tratamiento 5 con 34.10 qq/mz (2,213.87 kg/ha). Durante la investigación se tuvo la presencia una sequía como parte del fenómeno del Niño.

**Palabras clave:** Fertilización, suelo, textura, densidad, pH, maíz, *Zea mays*, La Montañona, Chalatenango, El Salvador.

## **Abstract**

The research was carried out in the municipalities of Las Vueltas, La Laguna and Chalatenango (Guarjila and Upatoro cantons), in the region of La Montaña Commonwealth, in the department of Chalatenango, in the period from May to November 2015, within the area working of the Canada-Latin America and The Caribbean Research Exchange Grants (LAGREG) project, in eight plots cultivated with corn (*Zea mays*) variety H59, two plots were located in Las Vueltas, two in Guarjila, two in Upatoro and two plots in The lagoon. Chemical analysis of the soil and its physical properties were carried out in each plot.

The objective of the research was to evaluate the physical and water characteristics of the soil and the effect of five levels of fertilization on the yield of the corn crop. A statistical model of Random Blocks was used, in eight plots, with 48 repetitions, the treatments were: Treatment 1 a mixture of 8.30 grams of formula 15-15-15 plus 13.40 g of Ammonium Sulfate was applied to each plant; in treatment 2 the same was applied to each plant as treatment 1 plus 1.30 g of potassium chloride; In treatment 3, the doses of fertilizers were applied according to the results of the soil analyzes of each of the eight plots; In treatment 4, 2.10 g of formula 15-15-15, 3.30 g of Ammonium Sulfate and 62.50 g of Bocashi were applied to each plant; in treatment 5, 125 g of Bocashi was applied to each plant; and a Witness in which no fertilizer was applied.

All the soils of the plots where the research was carried out present an optimal pH for cultivation; the texture varied between sandy loam and sandy clay loam; a density between 1.19 g / cm<sup>3</sup> to 1.57 g / cm<sup>3</sup>. The highest maize production was obtained with treatment 4 that yielded 42.92 qq / mz (2,786.54 kg / ha) and the lowest production was with treatment 5 with 34.10 qq / mz (2,213.87 kg / ha). During the investigation, a drought was observed as part of the El Niño phenomenon.

**Key words:** Fertilization, soil, texture, density, pH, corn, *Zea mays*, La Montaña, Chalatenango, El Salvador.

## II. Introducción

Parada (2010) estima que el consumo por persona de maíz en El Salvador es alrededor de 80.51 kg/año en el área urbana y de 127 kg/año en el área rural, en el ciclo 2006-07 la producción de maíz fue de más de 16 millones de quintales, lo que representó más de 195 millones de dólares y una generación de empleos directos e indirectos de 51.7 millones de dólares.

La producción de maíz se ha visto afectada tanto en terrenos planos como en ladera, y en donde se utilizan prácticas como la quema de rastrojos se ha agravado el grado de erosión y la pérdida de la fertilidad de los suelos, incrementando las plagas, enfermedades, alterando y colapsando el ciclo hidrológico, así como la reducción del volumen y diversidad biológica.

Otras características de los sistemas de producción de granos básicos en laderas corresponden a la incorporación de paquetes tecnológicos externos, ejemplo de ello, los paquetes agrícolas que son entregados a los productores por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), que incluye un fertilizante que es común para todas las regiones del país, los cuales son utilizados sin hacer un análisis previo del suelo.

Además de lo anterior también influye el inadecuado uso de agroquímicos, lo cual es producto de la falta de asesoría técnica, ya que los extensionistas del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) no logran asesorar a todos los agricultores del país, sumado a esto los escasos recursos económicos de los agricultores, por lo que ellos se ven en la necesidad de hacer préstamos bancarios para cultivar, con lo cual solo logran comprar semilla, fertilizante y pesticidas.

En esta investigación se establecieron ocho parcelas experimentales en las cuales se midieron parámetros físicos como densidad aparente, permeabilidad e infiltración; sumado a este esfuerzo dentro de cada parcela se aplicaron cinco tratamientos diferentes de fertilidad de suelo y un control o testigo seleccionados en bloques al azar.

Durante la etapa fenológica del cultivo se tomaron datos de diez plantas elegidas al azar en cada subparcela; se anotaron en una ficha datos de diámetro de la planta (centímetros), altura de la planta hasta la primera hoja (cm) y número de hojas; además, se tomaron los valores de precipitación y humedad del suelo. Al final de la investigación se observó que el tratamiento 4 presento mayor número de hojas en comparación con los demás y que los demás tratamientos presentaron números similares de hojas. La finca 5 ubicada en Las Vueltas presento mayor peso en quintales por manzanas y el menor valor se presentó en la finca 3 ubicada en Upatoro.



### **III. Planteamiento del Problema**

La producción de maíz en El Salvador y especialmente en el área del departamento de Chalatenango, por años se ha realizado en suelos muy poco profundos y con pendientes muy elevadas, agregando a esto que no se realizan análisis de fertilidad de suelos que les permita realizar un programa de fertilización acorde con las necesidades de los cultivos, lo que incide en los bajos rendimientos que obtienen.

Los suelos de laderas son altamente susceptibles a la erosión, principalmente por la quema de rastrojos y la alta intensidad de las lluvias. Algunas mediciones indican pérdidas mayores de 200 Tm/ha/año en suelos inclinados cultivados con el sistema maíz – frijol. La producción de maíz en El Salvador en su mayoría se desarrolla por productores minifundistas, que cultivan las tierras de laderas, estos agricultores son de escasos ingresos (Vieira *et al* 2000).

Los suelos de los municipios que pertenecen a la Mancomunidad La Montañona, han aumentado los niveles óptimos de algunos minerales que son necesarios para la producción de cultivos, por lo que es necesario disminuir el potencial de fósforo, calcio, magnesio, zinc, cobre y mantener el potencial de potasio el cual es el único que se encuentra dentro de los parámetros óptimos para el cultivo. Esto ha sido a causa del manejo inadecuado de los cultivos, de los insumos empleados en la fertilización, el control de plagas y malezas. Los agricultores en su mayoría utilizan un único fertilizante independientemente de los requerimientos del suelo agrícola, además, realizan quemas de rastrojo como práctica para el control de malezas, dejando el suelo sin cobertura vegetal.

Otros factores que inciden en la problemática de los productores en ladera es la tenencia de la tierra, ya que muchos de los productores arriendan tierras a cambio de dejar cierto porcentaje de las cosechas o dejan los rastrojos para el consumo del ganado que pertenece a los propietarios del terreno. Asociado a esto, en la mayoría de ocasiones los arrendantes no cultivan las mismas parcelas y eso hace que no se preocupen por la conservación de los recursos naturales, lo que afecta directamente el manejo sostenible que se puede dar a la parcela.

Todas las prácticas anteriormente descritas aunadas a la falta de asistencia técnica oportuna y constante, en el manejo agronómico del cultivo de maíz, falta de prácticas de conservación de suelos y agua, así como de la baja fertilidad de los suelos, incide en los bajos rendimientos obtenidos en la cosecha y en el deterioro del recurso suelo.

#### **IV. Objetivos**

##### **4.1. Objetivo General**

- Evaluar las características físicas e hídricas del suelo y el efecto de cinco niveles de fertilización en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en 3 municipios de la Mancomunidad La Montañona, Chalatenango, El Salvador.

##### **4.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar las propiedades físicas e hídricas de suelo en parcelas experimentales de maíz en 3 municipios de La Montañona.
- Evaluar el rendimiento del cultivo de maíz manejado con cinco programas de fertilización en tres municipios de la Mancomunidad La Montañona.
- Evaluar la morfología de las plantas de maíz en los cinco tratamientos.

## **V. Marco Teórico Conceptual**

### **5.1. La agricultura en El Salvador**

La agricultura ha marcado la estructura de la economía salvadoreña desde finales del siglo XVIII con el auge de la producción y exportación del añil (*Indigofera tinctoria*), hasta el siglo XX cuando se agotó el modelo agroexportador. Esta composición económica, centrada en la producción agrícola, representó el principal eje de acumulación de capital basado en el cultivo de café (*Coffea arabica*). Además de su importancia en la generación de ingresos y valor agregado, la agricultura ha jugado un papel fundamental en la vida de la población rural que encuentra en ella su principal medio de subsistencia, ya sea a través de la venta o el consumo de sus productos.

A lo largo de la historia de El Salvador, el sector agrícola ha ejercido un aporte primordial en el desarrollo económico del país, fundamentado por el cultivo de productos primarios de exportación como (café, algodón (*Gossypium hirsutum*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), los cuales representaban la principal fuente de ingresos y generación de empleos de la zona rural. La agricultura salvadoreña y en especial el modelo agroexportador han sufrido múltiples transformaciones económicas, dichos cambios fueron causados por la implementación de una serie de políticas y leyes que han generado un constante deterioro del sector agrícola (Bukele *et al.* 2012).

Según Bukele *et al.* (2012), la producción de alimentos en El Salvador no ha sido suficiente para satisfacer la demanda interna, por lo que cada vez más se requiere de las importaciones para atender las necesidades domésticas de alimentación más que todo de maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), ya que estos granos representan la principal fuente de proteínas y calorías, especialmente de las familias rurales, contribuyendo con más del 50% a la ingesta calórica diaria *per cápita*.

### **5.2. Características de la mancomunidad La Montañona**

La mancomunidad La Montañona es una asociación de siete municipalidades: Chalatenango, Concepción Quezaltepeque, Comalapa, La Laguna, El Carrizal, Ojos de Agua y Las Vueltas,

creada formalmente en octubre de 1999, la cual está ubicada en el Noreste del departamento de Chalatenango, las siete municipalidades se encuentran alrededor del macizo montañoso que lleva el mismo nombre, este bosque posee un tipo de vegetación muy particular conocido como bosque de Pino-Roble, su extensión es de 1,437 hectáreas (ha) y es de gran importancia biológica por el grado de especies endémicas, además de ser una zona de bosque importante para la provisión de agua y con potencial para desarrollar turismo de montaña.

Dentro de las características físicas de la zona destaca su función hidrológica, formando las vertientes elevadas o zonas de recepción de las subcuencas que descargan directamente al río Lempa y al río Sumpul, ya que sus requerimientos climáticos permiten el desarrollo de especies de flora y fauna únicamente en esa zona (PRISMA 2006).

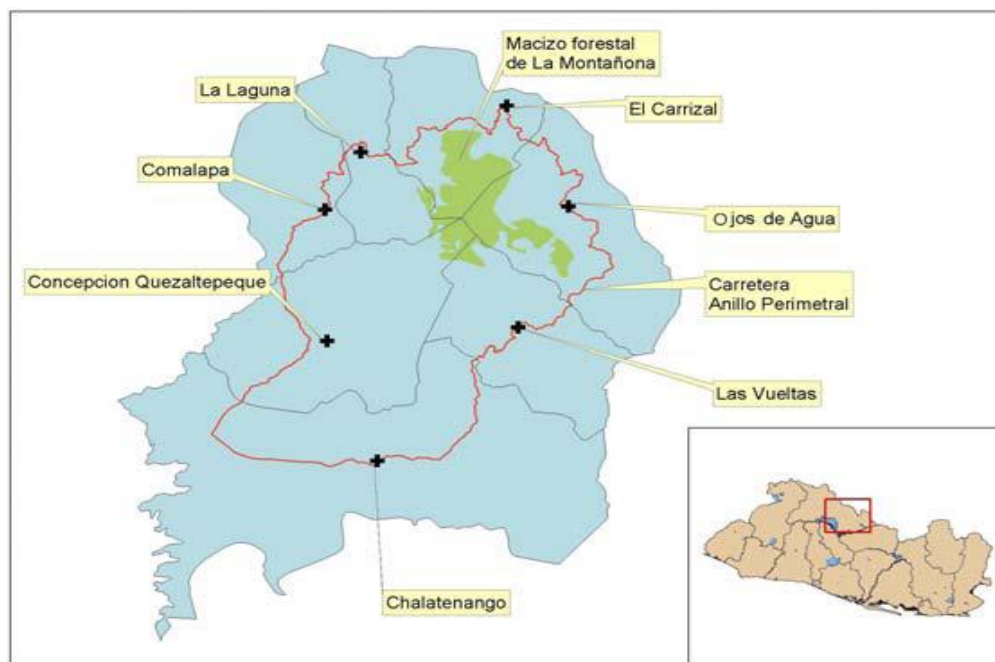


Figura 1. Ubicación geográfica de La Montaña, Chalatenango, El Salvador.

### 5.3. Formaciones geológicas en la zona de La Montaña

#### 1) Formación Morazán (m2a)

Wiesemann (1975:562) mencionado por Alas y Cáceres (2010), la describen como una composición de rocas volcánicas: lavas de intermedias a ácidas, ignimbritas y piroclastitas que

presentan metamorfismo de contacto o alteración hidrotermal. Las erupciones que las generaron pueden deberse a la fusión andesítica de diferentes niveles químicos de la corteza.

El miembro m2a está constituido por rocas efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclastitas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal; y el miembro m2b consiste en una secuencia de piroclastitas intermedias hasta intermedias-ácidas, epiclastitas volcánicas y efusivas subordinadas, con evidencias de metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal.

## **2) Formación Chalatenango**

Durr (1960: 9-13) citado por Argueta Platero (2008), mencionado por Alas y Cáceres (2010), la describen como una formación constituida por rocas volcánicas de tipo riolítico-dacítico, ignimbritas y epiclastitas, principalmente. Se le atribuye una edad del mioceno. Posee dos miembros geológicos:

- a) Miembro Ch1: son rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas localmente silicificadas. En el sector noroeste de El Salvador, en la Sierra del Norte, Sürton y Gealey (1949) mencionan una sección de casi 1,000 m (300 pies) al noroeste de San Ignacio (Esesmiles o Sisimiles), en el cual están incluidos flujos de lavas intermedias básicas, tobas y tobas brechosas, similares y probablemente de la misma serie que la sección entre La Palma y Tejutla al sur de San Ignacio, presumen que estas secciones continúan al este.
- b) Miembro Ch2: Está constituida por rocas efusivas ácidas de tipo riolítico, eventualmente en transición al miembro c2 de la formación Cuscatlán, y por piroclastitas subordinadas, aflora principalmente en el sector norte, al este y oeste de El Salvador.

## **3) Formación Bálsamo**

Formada por lavas básicas por lo general descompuestas que incluyen intercalaciones de toba fundida y que se encuentran sobre aglomerados volcánicos, es una formación de muy baja permeabilidad.

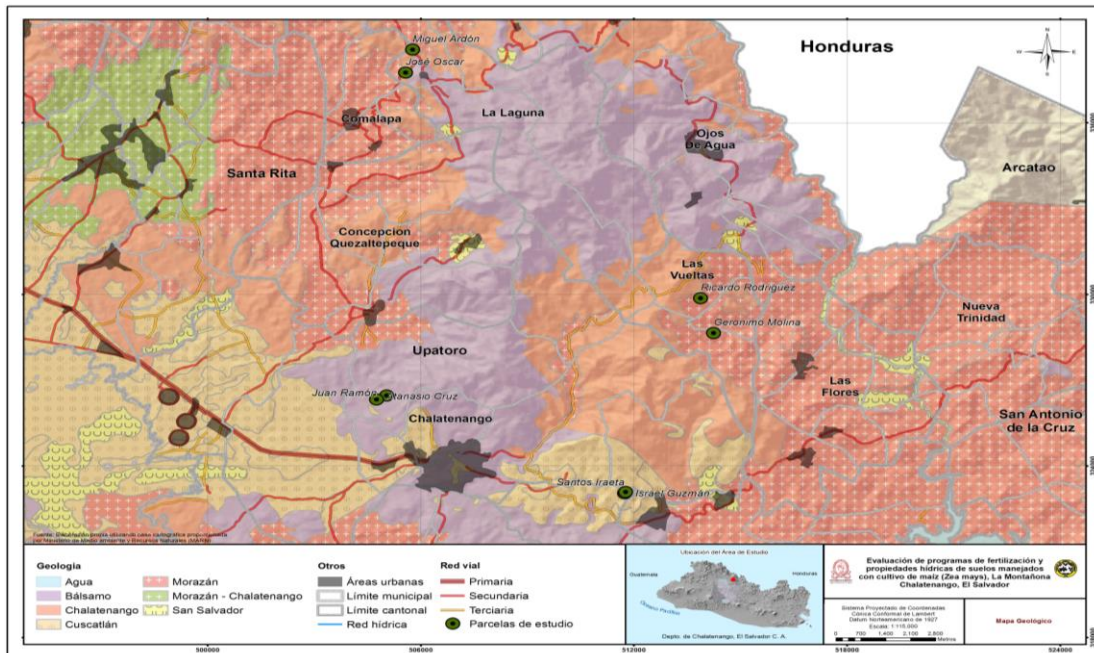


Figura 2. Mapa de formaciones geológicas de La Montaña, Chalatenango.

#### 5.4. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida la capacidad de muchos de los usos a los que las personas las someten. La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks 2004, mencionado por Alas y Cáceres 2010).

La raíz es el órgano fundamental en la nutrición de las plantas y su sano crecimiento depende de la evolución de la parte aérea, para lo cual son necesarios los parámetros físicos que permiten evaluar las condiciones de aireación y drenaje, las cuales están ligadas estrechamente con la capacidad de la planta para la toma de agua, oxígeno y nutrientes, dentro de estas propiedades físicas están: la textura, estructura, porosidad, constante de humedad y permeabilidad.

Además de las propiedades físicas antes mencionadas, la profundidad del suelo constituye un papel muy importante porque de ella depende el volumen de agua que el suelo puede almacenar para las plantas. Un suelo de textura y estructura uniforme de 0.60 m de profundidad puede almacenar el doble de la cantidad de agua que un suelo de 0.30 m de profundidad y también tendrá un volumen doble para las raíces de las plantas. Con frecuencia, a mayor profundidad mayor densidad aparente y menor porosidad de tamaño medio y grande. La raíz de la planta profundizara hasta donde las condiciones de aireación y drenaje le permitan respirar adecuadamente (Rucks *et al.* 2004).

#### **5.4.1. Textura**

Daniel y Jaramillo (2002) expresan que la textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina en el suelo; estas partículas llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: arena, limo y arcilla. Cada una de estas partículas se subdivide en fina, media y gruesa. Su fraccionamiento sigue una escala logarítmica con límites entre 0.002 y 2 mm, con un valor intermedio de 0.063 mm, y la arena entre 0.063 y 2 mm. Grava de 2 a 20 mm y piedra mayor de 20 mm.

La textura del suelo influye como factor de fertilidad y en la habilidad del suelo para lograr altos rendimientos en los cultivos agrícolas. Como criterio para estimar el potencial productivo de un suelo se toma en cuenta el porcentaje de partículas menores de 10 micrómetros (limo fino + arcilla) y se considera optimo 40%, en reducido porcentaje se disminuye la capacidad de campo, mientras que en alto se deteriora la capacidad de aireación del suelo.

Según USAID y ABES (2015), la textura del suelo en los municipios de la Mancomunidad La Montañona es relativamente similar entre ellos y predominan los suelos Franco Arenoso y Arcilloso. Las tasas de infiltración de agua también variaron considerablemente, pero fueron generalmente bajas e indican un riesgo moderado generalizado de escorrentía y en algunas instancias de alto riesgo. Las propiedades químicas a menudo estuvieron correlacionadas con la elevación. La materia orgánica fue significativamente mayor a elevaciones mayores,

mientras que el fósforo, calcio, magnesio y pH eran mayores a elevaciones más bajas. Las propiedades físicas del suelo estaban menos relacionadas con la elevación.

#### **5.4.2. Densidad aparente**

Según Rubio (2010), la densidad aparente es el peso volumétrico o peso por unidad de volumen que comprende partículas sólidas y espacio poroso en el suelo seco. Esta propiedad física permite evaluar la calidad de un suelo como indicador de la estructura, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo.

La mejor porosidad para el crecimiento de las plantas es la que permite una capacidad de infiltración grande y de percolación media, lo suficientemente equilibrada para dar a las raíces soporte adecuado, pero sin ser tan reducida que impida su desarrollo. La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo.

Con un incremento de la densidad aparente la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces y llevan a la planta a valores críticos.

La densidad aparente para el crecimiento de las raíces varía según la textura que presenta el suelo y de la especie que se trate. Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente por arriba de 1 son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios (Salamanca 2005 y Rubio 2010).



Domínguez (2005) realizó experimentos con cultivo de maíz en Nicaragua y concluyó que la densidad aparente tiende a aumentar debido a la compactación causada por el pisoteo del ganado y la labranza inadecuada; y que a medida que el contenido de materia orgánica se incrementa, el valor de la densidad aparente disminuye; mientras que si la materia orgánica disminuye aumenta la densidad aparente. Lo anterior se debe a que la materia orgánica favorece la estructura del suelo, lo cual hace que aumente la porosidad y por ende el volumen del suelo, dando como resultado una disminución en la densidad aparente.

### **5.4.3. Estructura**

Daniel y Jaramillo (2002) expresan que a medida que la evolución del suelo avanza, las partículas sólidas se unen entre sí de diversas formas, generando unidades de mayor tamaño llamadas agregados, unidades estructurales o peds. El arreglo que se produce con estos sólidos es lo que se denomina estructura del suelo, la cual, es una de sus principales propiedades, ya que el arreglo que presente la fase sólida está determinando el espacio que queda disponible para las otras dos fases de éste: la líquida y la gaseosa; puede decirse que esta propiedad es la que controla las interrelaciones entre las diferentes fases físicas del suelo y la dinámica de líquidos y gases en él, ya que tiene una influencia directa en propiedades como la porosidad, densidad aparente, régimen hídrico, régimen térmico, permeabilidad, aireación, distribución de la materia orgánica, entre otras; por lo anterior, no es casual que se estime la degradación de un suelo de acuerdo con el grado de deterioro de su estructura.

La estructura puede mitigar los efectos nocivos que puede tener la textura en el medio físico del suelo, así, por ejemplo, un suelo bien estructurado puede reducir, y hasta eliminar, los problemas de mal drenaje, baja permeabilidad y poca aireación inducidos por el empaquetamiento fuertemente ajustado de los separados que se presentan en un suelo de textura fina. En el desarrollo de la estructura del suelo intervienen varios agentes como:

- 1) Los macro y microorganismos, tanto animales como vegetales, los cuales ejercen una agrupación de partículas mecánicas por medio de sus hifas o de las raicillas. Estos organismos, luego, ayudan a cementar las partículas entre sí, con sus exudados o con los productos de su descomposición. Ésta es la bioestructura y es frecuente en los horizontes superficiales de suelos desarrollados bajo praderas de gramíneas cuyas raíces ocupan

densa y completamente esa porción del suelo. También se consideran como bioestructura los pseudoagregados formados por los excrementos de las lombrices; cabe destacar que estas unidades son de corta duración pues su estabilidad es muy baja.

- 2) Los ciclos de humedecimiento y secamiento son indispensables para que se produzca la deshidratación progresiva de los coloides y la cementación final de los agregados.
- 3) La compresión, los iones, las sales y los coloides ejercen efectos mecánicos y químicos sobre las partículas del suelo, uniéndolas y cementándolas.
- 4) El manejo del suelo, es un factor de especial importancia, sobre todo en lo relacionado con la conservación de la estructura del suelo (Daniel y Jaramillo 2002).

#### **5.4.4. Porosidad**

Rucks *et al* (2004) demostraron que el crecimiento de las plantas está determinado por factores atmosféricos, biológicos y edáficos. Estos últimos son físicos y químicos, siendo los primeros las propiedades del suelo que determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo están establecidas por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo, además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

La porosidad total o espacio poroso del suelo es la suma de macroporos y microporos. Las características del espacio poroso dependen de la textura y la estructura del suelo, por lo que es necesario mencionar que cuando en la textura domina la fracción arcilla, en la porosidad total del suelo hay muchos más microporos que cuando domina la fracción arena. En este caso existe una gran cantidad de macroporos en el espacio poroso (Rucks *et al* 2004).

#### **5.4.5. Permeabilidad**

Angelone *et al* (2006) manifiestan que un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos incluyendo las arcillas más compactas. Los suelos impermeables son suelos arcillosos, donde la cantidad de escurrimiento del agua es

pequeña y lenta. Los factores que influyen en la permeabilidad de los suelos son la viscosidad del fluido (varía según la temperatura), el tamaño, continuidad de poros y grietas a través de los cuales pasa el fluido o la presencia de discontinuidades.

Cisneros (2003) menciona que la permeabilidad se ve afectada por la presencia de capas endurecidas, cambios texturales, presencia de materia orgánica, actividad microbiológica, paso de arado, otros. La labranza continua y el uso excesivo de maquinaria reduce la permeabilidad, mientras que el uso de labranza de conservación con la utilización de técnicas de aprovechamiento de agua, incorporación de residuos vegetales, estiércoles y otras técnicas, la permeabilidad se ve incrementada y la retención de agua se ve mejorada, por consiguiente, habrá un mayor uso racional del agua y de los recursos relacionados con la agricultura. Los suelos con permeabilidad lenta a moderadamente lenta presentan valores entre 0.0036 cm/h y 2 cm/h.

La medida del coeficiente de permeabilidad se realiza por medio de permeámetros, los cuales pueden ser de nivel constante o nivel variable dependiendo del tipo de suelo analizado. El grado de permeabilidad de un suelo se mide por su coeficiente de permeabilidad, el cual se basa en la Ley propuesta por Darcy en el siglo XIX, la cual señala:

$$V = K * i$$

Dónde:

V = Velocidad de escurrimiento de un fluido a través del suelo.

K = Coeficiente de permeabilidad propio y característico.

i = Gradiente hidráulico, el cual representa la relación entre la diferencia de niveles (H) y la distancia (L) que el agua recorre.

## **5.5. Propiedades químicas del suelo**

Ramírez (1997) manifiesta que dentro de los procesos que se dan en el suelo, los más importantes son el intercambio iónico y la fotosíntesis. El cambio iónico es debido casi en su totalidad a la fracción de arcilla y materia orgánica. La capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/100g de suelo.

El autor manifiesta que el pH es una de las propiedades físico-químicas más importantes en los suelos, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. Además, determinan la concentración de iones tóxicos, las características de intercambio catiónico y las diversas propiedades encargadas de la fertilidad del suelo.

Influencia del pH sobre los diferentes elementos químicos:

Nitrógeno: este elemento depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Esta mineralización se da con pH cercanos a 7.

Fósforo: si el pH es ácido la solubilidad de aluminio y hierro es alta. Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles. El fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5.

Calcio, magnesio y potasio: Estos elementos aumentan la solubilidad del pH de 7 a 8.5

Zinc y cobre: la disponibilidad de estos elementos se encuentra en pH entre 3.5 a 6.5.

Los niveles óptimos de estos elementos para el cultivo de maíz son: Fósforo de 20.1 a 30 ppm, potasio mayor de cero ppm, calcio 15.2 ppm, magnesio 17.6 ppm, zinc 0.1 ppm, y cobre 0.1 ppm (MAG-CENTA 1995).

## **5.6. El agua del suelo**

Kolmans (1999) manifiesta que el agua es un elemento indispensable para el crecimiento de las plantas, es portadora de diversas sustancias nutritivas, por lo que la capacidad de retención de humedad del suelo influye en su fertilidad. Los suelos con buena humificación presentan buena capacidad de retención y percolación, mientras que los suelos pobres en materia orgánica presentan un drenaje excesivo o malo y necesitan mayor cantidad de agua, lo que favorece la erosión y crea además una necesidad cada vez mayor de riego tecnificado.

El régimen hídrico del suelo está en relación directa con el ciclo del agua a través del paisaje y la atmósfera. El uso inadecuado de fertilizantes químicos, en especial los nitrogenados, herbicidas, pesticidas y, en algunos casos, también el manejo inadecuado de los residuos

orgánicos, perturban el ciclo hidrológico. Además del agua, el aire es también importante y comparten la porosidad que hay entre las partículas sólidas del suelo en relación inversa, es decir, al inundar el suelo el agua desplaza al aire y cuando el suelo empieza a secarse el aire desplaza al agua. El agua es retenida con mayor energía en los microporos (0.0002 - 0.01 mm), mientras que el aire circula por los macroporos.

González (2009) expresa que los agricultores producen alimentos haciendo uso de dos recursos naturales importantes: el suelo y el agua. Éstos son necesarios para el cultivo y para la crianza de animales. Esta labor a menudo la realizan en áreas donde la topografía es montañosa, donde se requieren prácticas para el manejo de la escorrentía y el control de erosión. El suelo y el agua son también recursos vitales para toda actividad humana. Por tal razón, el agricultor debe conocer las prácticas recomendadas para el uso efectivo y la conservación de estos recursos esenciales.

La tarea del manejo eficiente del suelo y del agua clasifica al agricultor como un mayordomo o administrador de los recursos naturales o del ambiente. La mayordomía comienza con una autoevaluación de la finca para identificar las posibles fuentes de contaminación y sus posibles efectos en áreas circundantes. Algunos ejemplos de indicadores de prácticas ineficientes que pueden afectar grandemente la calidad del agua son: el sobre pastoreo, la aplicación excesiva de agroquímicos, el manejo de estiércol, el libre acceso del ganado a los cuerpos de agua (quebradas, charcas, humedales o pantanos), y permite la erosión. El agua limpia es un recurso valioso tanto para el consumo humano como para la finca. La adopción de buenas prácticas de manejo es una forma de asegurar que los abastos de agua se mantengan de buena calidad (González 2009).

El MARN (2018) menciona que la sequía meteorológica se clasifica de acuerdo con el número de días secos consecutivos. Para el país, una sequía meteorológica débil se define cuando se presentan periodos de cinco a 10 días secos consecutivos; una sequía moderada cuando se tiene de 11 a 15 días secos consecutivos; y una sequía fuerte cuando los períodos superan los 15 días en la época lluviosa.

El Salvador lleva cinco años consecutivos (2012-2016) enfrentándose a sequías meteorológicas fuertes. La sequía meteorológica del 2012 alcanzó 32 días secos, la del 2013 llegó a 23 y la del 2014 sumó 31. Las temporadas de sequía entre el 2012-2016 se han visto relacionadas con el fenómeno de El Niño, y la temperatura del océano Atlántico norte tropical por debajo del promedio (MARN 2018).

Cisneros (2003) menciona que en la producción de maíz son útiles sólo las lluvias mayores a 15 mm, es decir, si cae una lluvia de 20 mm se considera como haber aplicado un riego de 5 mm. Además, los días con temperaturas altas, vientos fuertes y aire seco, provocan mayores pérdidas de agua en el suelo y mayor consumo por las plantas.

### **5.7. Infiltración**

Warren (1975) manifiesta que la infiltración es importante para escoger los sistemas de riego adecuados para un suelo. El agua que no puede infiltrar en el suelo forma parte de la escorrentía superficial, por lo que es importante conocer la capacidad de infiltración en las parcelas agrícolas para estimar la cantidad de agua que fluye a través de la escorrentía superficial.

Según Cisneros (2003), la cantidad de agua que se infiltra en el suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él, expresándose generalmente en cm/hora o cm/minutos. Los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

- Textura: Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Un suelo arenoso favorece la infiltración.
- Estructura: Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltración más altas.
- Cantidad de materia orgánica: Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer proporcionan que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- Un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.

- Los suelos calientes permiten mayor infiltración de agua que los suelos fríos.
- A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración, favoreciendo además la penetración de raíces y la aireación.

Para determinar la capacidad de infiltración se pueden utilizar diferentes métodos, uno de los más comunes es el del infiltrómetro de doble cilindro, el cual es un instrumento metálico en forma de anillo, que junto a una regla graduada, gancho indicador y contra-pesa, determina la capacidad de infiltración de un suelo.

Es importante conocer el contenido de agua en el suelo ya que este líquido tiene un efecto principal en el crecimiento vegetal. El agua tiene cuatro funciones fundamentales en las plantas: es el mayor constituyente del protoplasma (85 a 95%), es esencial para la fotosíntesis y la conversión de almidones en azúcar, es el solvente en el cual los nutrientes se mueven a través de la planta y provee de turgidez a la planta para mantenerla en la forma y posición apropiada. La mayor parte del agua adsorbida por las plantas se da a nivel de raíces, aunque puede también hacerlo a través de estomas en mínima proporción (Cisneros 2003).

Domínguez (2005) observó en Nicaragua que en los periodos secos en los suelos arcillosos tienden a formarse pequeñas grietas que facilitan la circulación del agua con mayor rapidez, por tanto, este comportamiento de la infiltración debe tomarse con precaución, sin embargo, el autor observó que en una de las parcelas con cultivo la infiltración es muy lenta, esto coincide con un alto grado de compactación en estos suelos, que restringe la penetración del agua.

USAID y ABES (2015) manifiestan que la tasa de infiltración de agua en los siete municipios de la Mancomunidad La Montañona varió considerablemente en los estudios que realizaron, pero fueron generalmente bajas e indicaron un riesgo moderado generalizado de escorrentía y en algunas instancias de alto riesgo, por lo que las propiedades físicas del suelo estaban menos relacionadas con la elevación, a diferencia de las propiedades químicas las cuales a menudo estuvieron correlacionadas con la elevación.

## **5.8. Agroforestería**

Según Palomeque (2009), la agroforestería puede desempeñar una función importante en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes deforestados y fragmentados, suministrando hábitats y recursos para las especies de animales y plantas, manteniendo la conexión del paisaje (facilitando el movimiento de animales, semillas y polen); haciendo las condiciones de vida del paisaje menos duras para los habitantes del bosque, reduciendo la frecuencia e intensidad de los incendios, potencialmente disminuyendo los efectos colindantes sobre los fragmentos restantes, y aportando áreas de amortiguación a las zonas protegidas.

### **5.8.1. Árboles en asocio con cultivos anuales**

Estos sistemas se prestan para especies anuales tolerantes a la sombra; sin embargo, para esta misma categoría, para el caso particular de los sistemas de cultivos se pueden utilizar especies que no toleren la sombra. Estos sistemas incluyen cultivos como maíz, frijol, guisantes, soya (*Glycine max*), maní (*Arachis hypogaea*), en asociaciones con árboles fijadores de nitrógeno. En plantaciones de cultivos perennes como café y cacao (*Theobroma cacao*), incluye maderables, árboles de uso múltiple y árboles de "servicio" (manejados únicamente por el bien del cultivo, para fijación de nitrógeno, manejo de sombra). Este sistema también llamado cultivo en callejones consiste en la asociación de árboles o arbustos (se podan para evitar la sombra sobre los cultivos y los residuos se utilizan como abonos verdes para mejorar la fertilidad y como forrajes) (Palomeque 2009).

López (1999) expresa que dentro de las especies de árboles recomendadas para suelos alfisoles y ultisoles están el madrecaao (*Gliricida sp.*) y leucaena (*Leucaena sp.*), las cuales se siembran con maíz, yuca (*Manihot esculenta*) y arroz (*Oryza sativa*). Algunas de las ventajas que se tienen en este tipo de sistemas son: 1) diversificación de la producción, 2) regeneración de la fertilidad del suelo sobre todo con especies fijadoras de nitrógeno, 3) se requieren menos insumos externos, 4) mejora el ciclaje de nutrientes, 5) se hace un uso intensivo de la tierra, 6) aumenta la productividad por unidad de superficie, y 7) la diversificación de la producción reduce los riesgos económicos.



Uno de los mayores potenciales que se tiene con este tipo de sistemas en zonas de ladera es la diversificación de la producción, que reduce los riesgos económicos y la siembra de árboles en hileras perpendiculares a la pendiente, que contribuyen a disminuir la erosión del suelo. Dentro de las desventajas que se tienen en estos sistemas están: 1) competencia de agua y nutrimentos entre árboles y cultivos, 3) alto costo de mano de obra para su establecimiento.

USAID y ABES (2015) expresan que en la investigación que realizaron en Chalatenango, El Salvador, la mayoría de propiedades químicas no variaron significativamente entre las diferentes clases de usos del suelo o cobertura del suelo. Una excepción fue en sitios sembrados de pastos, especialmente pastizales arbolados, que tendieron a tener los valores más pobres de calidad de suelos, especialmente para potasio. Hay dos posibles explicaciones para esta observación: 1) el pastoreo de baja intensidad (generalmente caracterizado por la cubierta de pastizales arbolados) a menudo sigue a varios años de cultivos intensos y pastoreo que pueden haber degradado esos suelos, y 2) los pastizales arbolados se encuentran a menudo en terrenos que pueden tener baja fertilidad inherente.

En el mismo estudio se encontró que la profundidad del suelo varió en todas las elevaciones, con los suelos más profundos generalmente observados en pastizales y los menos profundos y más rocosos encontrados en los bosques. Las propiedades químicas a menudo estuvieron correlacionadas con la elevación. La materia orgánica fue significativamente mayor a elevaciones mayores, mientras que el fósforo, calcio, magnesio y pH eran mayores a elevaciones más bajas. Las propiedades físicas del suelo estaban menos relacionadas con la elevación.

## **5.9. Fertilidad del suelo**

En Chalatenango, El Salvador, la agricultura tradicional y la convencional se desarrolla en condiciones de laderas. Como consecuencia, la erosión es la causa principal de destrucción de los recursos naturales, así como del fomento de la pobreza, ya que, áreas plantadas con cultivos anuales pueden perderse por efecto de las lluvias, el viento, las prácticas agrícolas como las siembras a favor de la pendiente, el monocultivo, la no consideración de la agroforestería, el uso de productos agroquímicos, la quema de parcelas agrícolas, dejar el

suelo descubierto mucho tiempo, la no incorporación de materia orgánica permite la pérdida de nutrientes que la planta necesita para su desarrollo como nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y muchos kilogramos de micronutrientes, entre otros (Vieira 2000).

Si este problema no se controla a tiempo, la erosión continuará hasta llegar a la roca madre y poco a poco el agricultor irá notando que las raíces tienen más dificultad en profundizarse y tomar los nutrientes, que el suelo retiene poca agua y que los efectos de la sequía cada día serán mayores. Al no poder infiltrarse, el agua descenderá por escorrentía y se llevará más suelo, dificultará cada vez más las labores agrícolas, así como el crecimiento de las plantas. Finalmente, este proceso anula la viabilidad de la actividad agrícola.

Restrepo R. (1994) investigó la teoría de la Trofobiosis, la cual comprobó en monocultivos en Colombia, él sostiene que las defensas orgánicas de los vegetales están determinadas por una nutrición equilibrada, la cual impide la acumulación de sustancias nutritivas (para los heterótrofos, azúcares y aminoácidos libres) en la savia o citoplasma; el mejor control de insectos y enfermedades se logra por el manejo orgánico del suelo y un conjunto de prácticas que le proporcionan a la planta condiciones propicias para un desarrollo sano. Un determinado insecto o enfermedad sobre una determinada planta o todo un cultivo indica que hay errores en algunos métodos de cultivo: suelo desestructurado, sin vida, agotado, abonos errados y mal usados, manifiestan intoxicación con plaguicidas; en cuanto más veneno se utiliza, más plagas aparecen; sin embargo, en la planta equilibrada las plagas no tienen ni una sola oportunidad de ataque.

Kolmans (1999) manifiesta que sin la materia orgánica en el suelo los nutrientes son inalcanzables para las plantas. La materia orgánica se caracteriza por presentar a las plantas los nutrientes disponibles en forma ideal en cuanto a su variedad y concentración. El suelo es una mezcla de materias orgánicas e inorgánicas conteniendo una gran variedad de macroorganismos (por ejemplo, lombrices, hormigas, tijerillas, otros.) y microorganismos (bacterias, algas, hongos). El suelo provee ancla y soporte para las plantas, las cuales extraen agua y nutrientes de él.

Los microorganismos son extremadamente numerosos en un suelo fértil, es decir, que un gramo de tierra sana contiene aproximadamente diez mil millones de bacterias. Todos los microorganismos que descomponen la materia orgánica y por consecuencia reciclan los nutrimentos, son organismos aerobios (Meléndez y Soto 2003).

### **5.10. Composición del suelo y las plantas**

Hinrich (1993) expresa que las plantas extraen sus componentes minerales del suelo; sin embargo, las excepciones son el nitrógeno y los gases de azufre ( $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_2$ ) que las hojas absorben directamente de la atmósfera, y los iones que se absorben del polvo y aspersiones foliares. Estas cantidades tienen significado únicamente en atmósferas contaminadas o donde se han aplicado aspersiones para propósitos definidos. Bajo condiciones naturales, los principales factores que afectan la disponibilidad de iones para las plantas son: 1) la concentración en la solución del suelo; 2) el grado de interacción con la fase sólida del suelo y su velocidad de liberación de esta misma fase; 3) la actividad de los microorganismos del suelo; y, 4) la selección efectuada por la raíz de la planta durante la absorción de iones.

Vieira *et al* (2000) manifiestan que las plantas para crecer y reproducirse necesitan de ciertos elementos minerales que extraen del suelo, estos nutrientes son considerados el “alimento de las plantas”. Cada nutriente cumple papeles específicos dentro de la planta, unos son parte de la estructura de los tejidos, otros participan en las reacciones y procesos actuando como iones activadores y transportadores en la fotosíntesis, los ciclos de producción de energía, la elaboración de savia y la absorción de los mismos nutrientes, entre otras funciones. Según las cantidades promedio requeridas y absorbidas por las plantas, los nutrientes son divididos en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son aquellos que las plantas normalmente necesitan en mayores cantidades como:

- Nitrógeno (N): Es un nutriente esencial para la formación de los aminoácidos y la síntesis de proteínas en las plantas. Es responsable del crecimiento y el verde intenso de las hojas. Estimula la formación y desarrollo de las yemas florales y fructíferas, favorece el macollamiento y el desarrollo vegetal.
- Fósforo (P): es un nutriente esencial para el ciclo de producción de energía dentro de la planta (ATP, ADP y ATPase). Está ligado a los mecanismos de producción de

carbohidratos, lípidos y proteínas. Acelera la maduración de los frutos. Además, es importante porque estimula el crecimiento del sistema radicular y se dice que el fósforo ayuda a la fijación simbiótica del N.

- Potasio (K): es un nutriente esencial en muchas de las reacciones y procesos del metabolismo vegetal. Está involucrado en la fotosíntesis, la respiración y el aprovechamiento del agua por las plantas, siempre como un ion activador de estos procesos. Su presencia está ligada a la resistencia de los tallos de las plantas, a la sequía y algunas enfermedades. Estimula el macollamiento, el cuajado de los granos y el almacenamiento de azúcares y almidones.
- Calcio (Ca): es un nutriente que tiene como principal función participar en la estructura de la membrana celular. Este macronutriente está involucrado con un activador enzimático de las membranas celulares y la absorción iónica. Estimula el crecimiento de las raíces, auxilia la fijación simbiótica del nitrógeno y ayuda a cuajar las flores.
- Magnesio (Mg): Participa en la estructura vegetal como el ion central del núcleo de la molécula de clorofila. También participa en reacciones ligadas a la adsorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento de energía y otros procesos metabólicos, y ayuda al fósforo a cumplir sus funciones.
- Azufre (S): Es parte de la estructura de algunos aminoácidos, proteínas, enzimas y vitaminas. Funciona como un activador enzimático. Participa en los procesos de fotosíntesis, respiración, síntesis de proteínas y grasas. Favorece la vegetación y la fructificación. Ayuda a la fijación simbiótica de N.

Los micronutrientes cumplen funciones diversas dentro de la planta. Algunos son parte de la estructura, en complejos como los fenoles, carbohidratos, lípidos, vitaminas, aminoácidos y proteínas (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn), y trabajan como iones activadores de reacciones y procesos. Otros cumplen solamente esta última función (Mo, Ni, Zn). Estos micronutrientes son tan importantes como los macronutrientes, ya que sin ellos no se puede completar el ciclo vital de la planta (Vieira *et al* 2000).

Los micronutrientes son aquellos requeridos en pequeñas cantidades, aunque su importancia es fundamental para que ocurran todos los procesos vinculados al crecimiento y reproducción.

Los elementos antes mencionados son considerados nutrientes esenciales, que no pueden ser sustituidos por otros elementos y sin ellos las plantas no logran completar su ciclo de vida. Hay otros elementos que son absorbidos por las plantas, pero que no son considerados como nutrientes esenciales, entre ellos están el sodio (Na) y el silicio (Si). Igualmente, toda planta posee grandes cantidades de oxígeno (O), hidrógeno (H) y carbono (C), además de agua, en su estructura, sin que estos elementos sean considerados propiamente nutrientes, aunque si una condición primaria para la existencia de la propia planta (Vieira *et al* 2000).

USAID y ABES (2015) manifiestan que cuando un nutriente del suelo está debajo del nivel de suficiencia, el suelo está limitado por ese nutriente y algunos beneficios en la productividad del cultivo serán observados si hay manejo para ese nutriente. El segundo es el Nivel Crítico, debajo del cual el nutriente está muy bajo y la productividad va a ser seriamente restringida. Un manejo específico para ese nutriente llevará a una ganancia en productividad, asumiendo que no hay otros factores limitantes (ejemplo agua y sol). Los tres análisis que se realizaron de las propiedades químicas del suelo mostraron altas variaciones y muy bajos niveles para algunos nutrientes, mientras otros parecen estar más consistentes en toda el área de estudio de la línea y no son de preocupar. Dentro de los resultados más alarmantes están los niveles críticos bajos de fósforo y potasio en el suelo.

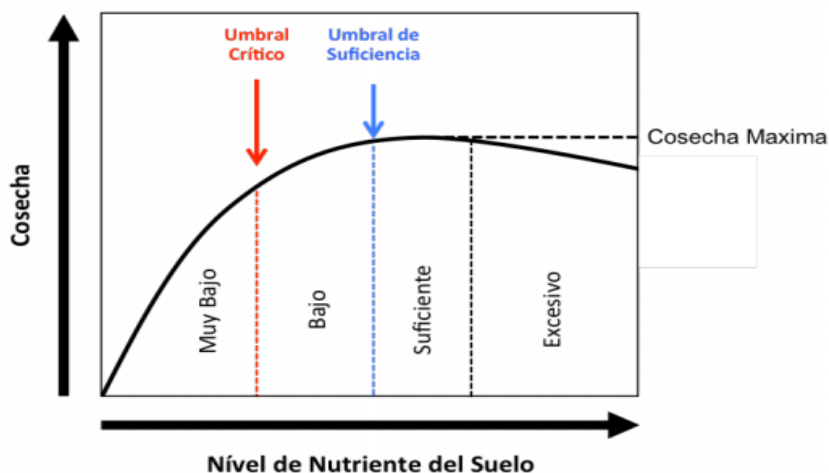


Figura 3. Curva de respuesta a rendimientos típicos en el nivel de suficiencia y nivel crítico (USAID y ABES 2015).

### **5.11. Los fertilizantes aumentan el rendimiento de los cultivos**

Los nutrientes que necesitan las plantas se toman del aire y del suelo. Si el suministro de nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado y los rendimientos de los cultivos son reducidos. En consecuencia, a fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando.

Los resultados de miles de demostraciones y de ensayos llevados a cabo en fincas de agricultores bajo el primer Programa de Fertilizantes de la FAO, que cubrió un período de 25 años en 40 países, mostró que el aumento promedio ponderado del mejor tratamiento de fertilizantes para ensayos de trigo era alrededor del 60%. La eficiencia de los fertilizantes y la respuesta de los rendimientos en un suelo particular pueden ser fácilmente analizadas agregando diferentes cantidades de fertilizantes en parcelas adyacentes, midiendo y comparando los rendimientos de los cultivos (FAO 2002).

### **5.12. Los abonos orgánicos mejoran la eficiencia de los fertilizantes**

El abono orgánico es muy valioso porque mejora las condiciones del suelo en general. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, mejorando significativamente de esta manera su fertilidad. Además, la materia orgánica es un alimento necesario para los organismos del suelo. El abono orgánico/la materia orgánica mejora las propiedades del suelo, y el suministro de fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan (FAO 2002).

### **5.13. Cultivo del maíz**

Bajo condiciones climáticas adecuadas o mediante el aporte de riego, el maíz es el más productivo de los cereales y es uno de los más importantes en El Salvador, ya que es parte de la dieta alimentaria y por su connotación social, representa al sector más numeroso del país, aunque es una especie de zonas semiáridas.

En El Salvador las variedades de maíz que se cultivaban solo se podían sembrar en climas favorables, por lo cual, el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), a través del Programa de Granos Básicos ha investigado en este rubro agrícola realizando trabajos desde hace más de 40 años, y es en este tiempo cuando se generaron los primeros híbridos nacionales (H-3 y H-5) que superaron las variedades criollas, y que dio como resultado un incremento en la producción de maíz, siendo líder en la región, pero debido a los efectos del cambio climático era necesario un híbrido de maíz que fuera resistente al acame, tolerante a las enfermedades foliares y a la sequía (MAG-CENTA 1995).

En el año 2004 el CENTA libera el maíz H-59, que además de ser resistente a las condiciones climáticas, posee un alto potencial de rendimiento y niveles superiores de aminoácidos esenciales como Lisina y Triptófano, por lo que se le denomina de Alta Calidad Proteica (ACP). Además de su alto potencial proteico es aceptado por los agricultores por el tamaño y peso del grano, buen peso de la mazorca, buen grosor de la caña, buena altura de la planta y buen follaje. En cuanto al consumo de tortillas, tiene las mismas características que otras variedades, con la ventaja de tener un color más blanco (Deras 2008).

Cuadro 1. Características agronómicas del maíz H-59.

<b>Característica</b>	<b>Duración</b>
Ciclo vegetativo	115 días
Días a floración	55 días
Altura de la planta	247 cm
Reacción al acame	Resistente
Aspecto del tallo	Vigoroso
Color del grano	Blanco
Tipo de grano	Semidentado
Rendimiento	95-100 qq/mz

Fuente: Deras (2008).

El maíz se adapta a temperaturas de 18 a 26° C y requiere suficiente cantidad de agua a través del ciclo vegetativo especialmente en su etapa de floración. Se desarrolla bien en suelos con buen drenaje, suelos aireados, planos y ligeramente quebrados (Deras 2008).

Los productores de El Salvador siembran maíz en tres épocas del año: la primera es del 15 al 30 de mayo, la segunda es llamada de postrera o tunalmil y es del 15 al 31 de agosto, y la tercera llamada de riego o apante se puede efectuar del 1 al 15 de diciembre o enero (Deras 2008).

Cuadro 2. Labores culturales del maíz.

<b>Labor cultural</b>	<b>Descripción</b>
Preparación del suelo	Realizan labranza mínima para la siembra de maíz, debido a que cultivan en suelos inclinados y de esta manera se disminuye la erosión del terreno.
Siembra	Utilizan chuzo para hacer un hueco en el suelo y depositar la semilla.
Fertilización	Realizan 2 fertilizaciones con Sulfato de Amonio durante el ciclo del cultivo, la primera la hacen a los 8 días después de la siembra y la segunda entre 30 y 35 días después de la siembra aplicando fórmula 15-15-15.
Cosecha	Se realiza cuando los granos tienen de 15 a 20% de humedad, en la mayoría de casos lo dejan en las parcelas más tiempo, luego almacenan el maíz en lugares frescos y en sacos o graneros de aluminio.

Fuente: MAG-CENTA (1995).

Los principales factores que pueden favorecer o dificultar la aparición de plagas y enfermedades en el cultivo son el clima, las labores preparatorias del terreno, la cosecha y el control de malas hierbas. Algunas plagas del maíz son el gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*), tortuguillas (*Diabrotica sp*, *Acalymma sp*, *Cerotoma sp*, *Colaspis sp.*), chicharrita o cigarrita del maíz (*Dalbulus maydis*), gusano Medidor (*Mocis latipes*), otras (MAG-CENTA 1995).

Para reducir los daños ocasionados por las plagas antes mencionadas el agricultor puede aplicar los siguientes controles:

- Control Cultural: Mantener libre de malezas y plantas que afecten el cultivo.



- **Control Químico:** Un buen uso de los plaguicidas constituye una valiosa táctica de control para evitar los daños al cultivo por parte de algunas plagas que podrían causar pérdidas cuantiosas si no se controla a tiempo. Los plaguicidas, sin embargo, deben aplicarse usando criterios derivados del monitoreo de plagas y sus enemigos naturales, y considerando sus efectos secundarios como la emergencia de plagas secundarias, el desarrollo de resistencia y la contaminación ambiental (MAG-CENTA 1995).

Domínguez Martín (2005) realizó en Nicaragua investigaciones en cultivo de maíz en tres fincas, en las cuales se aplicó labranza manual de 28 hectáreas, cada una en suelos con pendientes que van de 15% a más de 50%, tomo muestras de suelo con un barreno a una profundidad de 20 cm, midió la infiltración con anillos de infiltración individual y observo que en dos de las fincas que se tomaron como muestras el rendimiento del maíz fue entre 0.51 y 0.68 toneladas por hectárea, y en la finca 3 fue de 1 a 1.30 toneladas por hectárea, por lo que en las dos primeras fincas no se observó un valor significativo.

Las propiedades físicas y químicas de los suelos de estas fincas tales como profundidad, textura, color, estabilidad estructural, resistencia mecánica, porosidad, densidad aparente, infiltración, pH, materia orgánica, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico, se describen en el cuadro siguiente:

Cuadro 3. Propiedades físicas de las parcelas con maíz en Nicaragua.

<b>Parcela</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Infiltración (mm/h)</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Textura</b>
Finca 1 (maíz)	3	36.58	1.27	Arcillosa
Finca 1 (pastos)	20	3.22	1.17	Arcillosa
Finca 1 (bosque)	5	84.64	1.26	Arcillosa
Finca 2 (maíz)	5	7.30	1.14	Arcilla
Finca 2 (pasto)	4	0.92	1.16	Franco-arcilloso
Finca2 (bosque)	5	50.37	1.33	Arcilloso
Finca 3 (maíz)	4	43.88	1.00	Arcilloso
Finca 3 (pasto)	10	1.29	1.11	Arcilloso
Finca 3 (árboles dispersos)	40	13.94	1.00	Franco-arcilloso

Fuente: Domínguez Martín (2005).

García *et al.* (2016) evaluaron en el proyecto ABES en Chalatenango, El Salvador, cuatro prácticas de manejo en maíz y frijol a pequeña escala (milpas), las cuales fueron: 1) la gestión tradicional (convencional) que se utiliza en la zona (tala de árboles y el uso de fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas); 2) un sistema denominado 'Yusique', donde una parcela manejada de forma tradicional se convierte en un manejo agroforestal de tumba y mantillo de la plantación de árboles y la gestión de la regeneración natural; 3) un sistema denominado 'Quesungual', cuando se emplea la gestión de tala y el mantillo, pero convertido de un bosque secundario/barbecho; y, 4) manejo orgánico, donde se utilizan las alternativas no químicas tales como fertilizante bocashí y la gestión integrada de plagas. Un bosque secundario/barbecho no administrado también se controló como sitio de referencia.

El proyecto fue desarrollado por USAID y ABES en coordinación con la Asociación de Municipios de La Mancomunidad La Montañona, para desarrollar y capacitar a los agricultores en las estrategias de manejo integrado de plagas, esto incluye el control de enfermedades con ingredientes accesibles a la mayoría de los agricultores. Se midieron cosechas y analizaron el suelo de 44 fincas agrícolas dentro de las cuales un 22% de las fincas era de frijol-maíz, 11% eran fincas solo de frijol y 11% solo de maíz, el tamaño de las parcelas analizadas fue de 0.07 a 1.30 ha, en promedio se analizaron 0.36 ha, la cosecha obtenida fue de 748 a 5,003 kg/ha con un promedio de 3,048 kg/ha (figura 4). En el cuadro 5 se presentan las causas por las cuales se perdieron algunas cosechas.

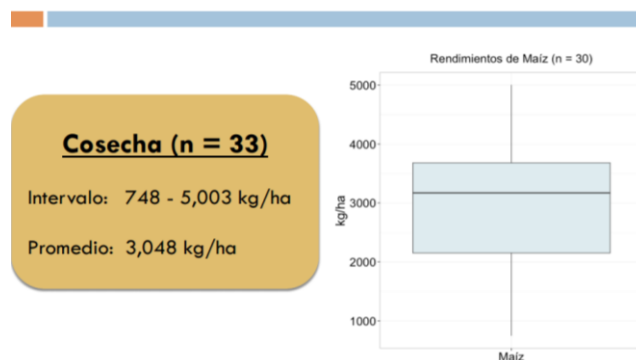


Figura 4. Distribución del rendimiento de maíz (USAID et al 2014).

## Perdidas (n = 44)

Impacto	Sequía	Plagas	Enfermedades
(0) - Ninguna	22 %	27 %	46 %
(1) - Bajo	15 %	34 %	29 %
(2) - Mediano	37 %	27 %	17 %
(3) - Grave/duro	27 %	12 %	7 %

Figura 5. Causas de la pérdida de la cosecha de maíz (USAID et al 2014).

## VI. Metodología

### 6.1. Ubicación geográfica

La Microregión Asociación de Municipalidades o Mancomunidad La Montañona está integrada por los municipios de Las Vueltas, Ojos de Agua, El Carrizal, La Laguna, Comalapa, Concepción Quezaltepeque y Chalatenango, todos en el departamento de Chalatenango, se ubica entre las coordenadas geográficas 13°55'49.93" (312116.9 m) y 14°12'36.52" (343027.64 m) latitud Norte y 88°40'52.1" (534457.56 m) y 89°1'40.29" (496992.96 m) longitud Oeste, colinda al sur con el lago Suchitlán, el embalse de la presa del Cerrón Grande y es fronterizo al norte con Honduras.

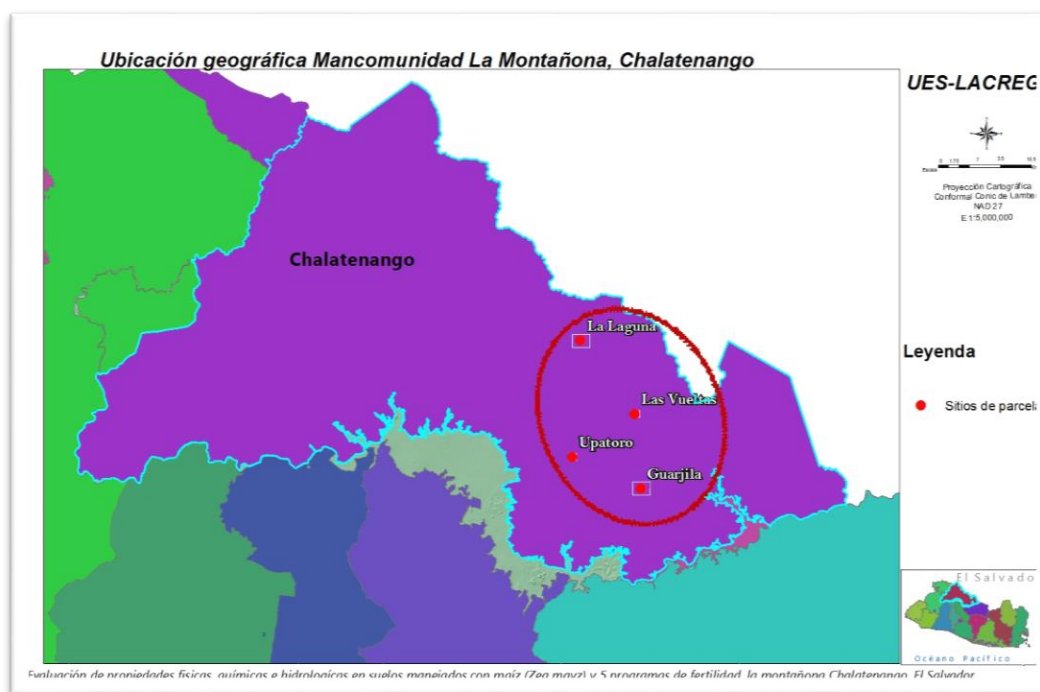


Figura 6. Ubicación geográfica de la Mancomunidad La Montañona, Chalatenango.

La cordillera norte es caracterizada por la presencia de bosques de pino (*Pino oocarpa* y *Pino caribaea*), liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*), asociaciones pino-roble (*Pino oocarpa-Quercus penducularis var*) y bosques. La zona se divide en 3 unidades morfoestructurales: las estribaciones de la Montañona, La Montañona y el río Tamulasco.

La zona posee un interés de conservación alto. La cima de la montaña, que está arborizada, es de suma importancia como área de flujo biológico con otras áreas montañosas del país y de Honduras. En relación a los ecosistemas presentes en el área del río Tamulasco el 99% son sistemas productivos (granos básicos y ganadería) y el 1% son matorrales y arbustales deciduos en época seca (PRISMA 2006).

## **6.2. Materiales y Equipo**

En la investigación se usaron: tamiz de 2 mm, cronómetro, probetas de 100 ml, agitadores de vidrio para mantener la muestra en suspensión constante mediante la agitación, batidora para homogenizar la muestra, agua destilada, hidrómetro de Bouyoucos, termómetro, agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio para separar las partículas de limo y arcilla), muestras de suelo secadas al aire y tamizadas, boletas de campo, GPS, cintas métricas, cámara fotográfica, cubetas, banderillas, costales, bolsas, barrenos, cilindros de infiltración, permeámetro e insumos agrícolas.

## **6.3. Metodología de campo**

La investigación se realizó en 8 parcelas ubicadas en los municipios de la Mancomunidad La Montañona: 2 parcelas se ubicaron en Las Vueltas, 2 en Guarjila, 2 en Upatoro y 2 en La Laguna. Los ensayos de fertilidad del suelo se realizaron dentro del área que tiene delimitada el proyecto Canadá-Latin America and the Caribbean Research Exchange Grants (LAGREG). En cada parcela experimental se realizaron análisis químico del suelo para fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre, así como propiedades físicas como textura, densidad aparente, infiltración y prueba de permeabilidad.

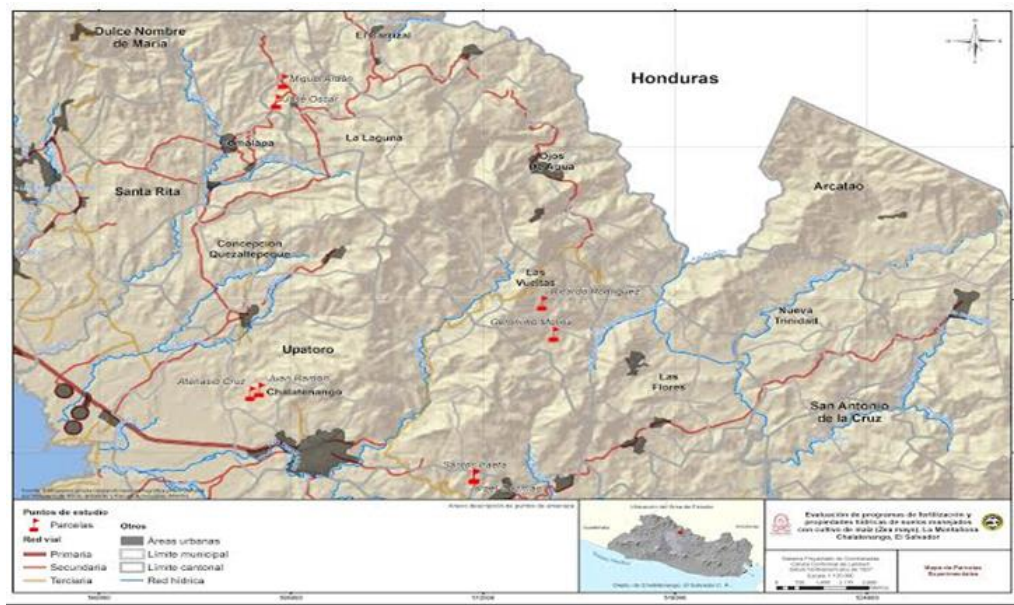


Figura 7. Ubicación geográfica de las parcelas.

#### 6.4. Diseño estadístico

Se usó el modelo estadístico de Bloques al Azar, el cual permitió analizar la variación total en los siguientes componentes: variación entre bloques, variación entre unidades experimentales por efecto de los tratamientos y variación dentro de las unidades experimentales (errores experimentales). Se evaluaron 6 tratamientos incluyendo al Testigo, en 4 sitios, haciendo un total de 8 parcelas con 48 repeticiones, cada parcela fue de 10 x 30 metros (m) y las subparcelas de 10 x 5 m.

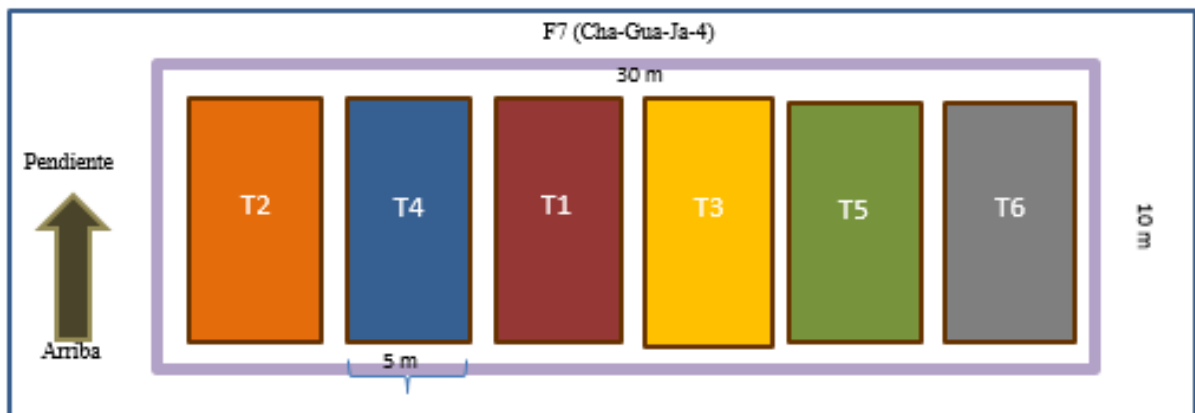


Figura 8. Parcelas y sub parcelas para cada tratamiento.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (T1): se aplicó a cada planta 8.30 gramos (g) de fórmula 15-15-15 más 13.40 g de Sulfato de amonio. Esta es la dosis de fertilizante que utilizan los productores en la zona.
- Tratamiento 2 (T2): se aplicó a cada planta lo mismo de T1 más 1.30 g de Cloruro de potasio o fórmula 0-0-60 (dosis máxima de potasio recomendada por CENTA).
- Tratamiento 3 (T3): Las dosis de fertilizantes se aplicaron según los resultados de los análisis de suelo de cada una de las 8 fincas (cuadro 5), usando el programa QUEFTS Basic, elaborado por el Dr. Marius Heinen de Wageningen UR Alterra.
- Tratamiento 4 (T4): se aplicó a cada planta 2.10 g de fórmula 15-15-15, 3.30 g de Sulfato de amonio y 62.50 g de Bocashi (basado en el 25% de la dosis de fórmula 15-15-15 y de Sulfato de amonio de T1 y 50% de la dosis de Bocashi de T5).
- Tratamiento 5 (T5): se aplicó a cada planta 125 g de fertilizante orgánico Bocashi (basado en la dosis de bocashi que aplican en los experimentos de ABES y en las recomendaciones del productor de bocashi), el cual contenía 2.46% de nitrógeno, 1.27% de fósforo y 1.51% de potasio.
- Tratamiento 6 (T6): Testigo o Control (no se aplicó ningún fertilizante).

Cuadro 4. Tratamientos que se utilizaron en la investigación

Tratamiento	Fertilizante	Dosis por subparcela (kg)	Dosis por planta (gramos)
Tratamiento 1	Fórmula 15-15-15	3,956	8.30
	Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (21% N y 24% S)	6,378	13.40
Tratamiento 2	Fórmula 15-15-15	3,956	8.30
	Sulfato de amonio	6,378	13.40
	Cloruro de potasio o fórmula 0-0-60 (KCl)	0.626	1.30
Tratamiento 3	Las dosis de fertilizantes se aplicaron según los resultados de los análisis de suelo de cada una de las 8 fincas (cuadro 5).		
Tratamiento 4	*Bocashi		62.50 (50% de 125 g)
	Fórmula 15-15-15	0.99	2.10 (25% de 8.30 g)
	Sulfato de amonio	1.594	3.30 (25% de 13.40 g)
Tratamiento 5	**Bocashi	29.763	125
Tratamiento 6 o Testigo	No se aplicó nada.		0

Fuente: Elaboración propia (2016).

\*Tratamiento 4: en el bocashi se aplicó 104 kg/ha de nitrógeno, 39 kg/ha de fósforo y 38 kg/ha de potasio.

\*\*Tratamiento 5: en el bocashi se aplicó 124 kg/ha de nitrógeno, 64 kg/ha de fósforo, 76 kg/ha de potasio.

Cuadro 5. Dosis de fertilizantes aplicados por finca en el Tratamiento 3 (T3), según los resultados de los análisis de suelo.

Finca	Sulfato de amonio		Fórmula 15-15-15		Cloruro de potasio o fórmula 0-0-60	
	Subparcela (kg)	Dosis/planta (gramos)	Subparcela (kg)	Dosis/planta (gramos)	Subparcela (kg)	Dosis/planta (gramos)
Finca 1	0.00	1.30	0.99	17.40	1.80	
Finca 2	0.00		8.15	17.10	3.22	5.30
Finca 3	0.00		0.00		1.80	3.80
Finca 4	0.99	2.10	0.00		3.22	6.80
Finca 5	0.00		0.00		0.24	0.10
Finca 6	0.00		0.00		0.07	0.50
Finca 7	2.56	5.40	1.45	3.10	1.45	3.10
Finca 8	1.63	3.40	6.60	13.40	1.73	1.30

Fuente: Elaboración propia (2016).



Los fertilizantes en cada tratamiento se aplicaron a las plantas de maíz según el siguiente detalle:

- Tratamiento 1, se realizó una mezcla de fórmula 15-15-15 y Sulfato de amonio. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra del cultivo y la segunda aplicación se realizó 15 días después de la primera fertilización.
- Tratamiento 2, se hizo una mezcla de fórmula 15-15-15, Sulfato de amonio y la fórmula 0-0-60. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra del cultivo y la segunda aplicación se realizó 15 días después de la primera fertilización.
- Tratamiento 3, se hizo una mezcla de fórmula 15-15-15, Sulfato de amonio y fórmula 0-0-60. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra del cultivo y la segunda aplicación se realizó 15 días después de la primera fertilización.
- Tratamiento 4, se hizo una mezcla de fórmula 15-15-15, Sulfato de amonio y Bocashi. La primera aplicación se realizó a los 8 días después de la siembra del cultivo y la segunda aplicación se realizó 15 días después de la primera fertilización.
- Tratamiento 5, el fertilizante Bocashi se aplicó a los 8 días después de la siembra del cultivo y la segunda aplicación se realizó 15 días después de la primera fertilización.

#### **6.4.1. Establecimiento de las parcelas de muestreo**

Las parcelas de muestreo se establecieron de la siguiente manera: del Noroeste de la parcela de 10 m x 5 m (parte superior de la pendiente) se seleccionaron 3 surcos hacia abajo, dejando 2 surcos y empezando en el 3<sup>er</sup> surco. Este surco fue el límite en la parte superior de la parcelita de muestreo de 3 m x 7 m.

En cada subparcela o tratamiento de 10 m x 5 m y a partir del 3<sup>er</sup> surco se midió desde el borde de la subparcela un metro hacia el Noreste. Para demarcar esta esquina se colocó una bandera de color anaranjada. Del sitio en donde quedó la 1<sup>a</sup> bandera se midieron 3 m hacia el Noreste, siguiendo el mismo 3<sup>er</sup> surco y se colocó otra bandera para demarcar la 2<sup>a</sup> esquina del cuadro de muestreo.

Después, se regresó al lugar donde se puso la 1<sup>a</sup> bandera y a partir de allí se contaron 6 surcos hacia el Sur para llegar hasta el 9<sup>o</sup> surco, en donde se ubicó otra bandera, el cual fue el límite

inferior. Luego se midió 3 m en dirección Noroeste de la parcela para colocar la 4ª bandera y demarcar la subparcela de muestreo.

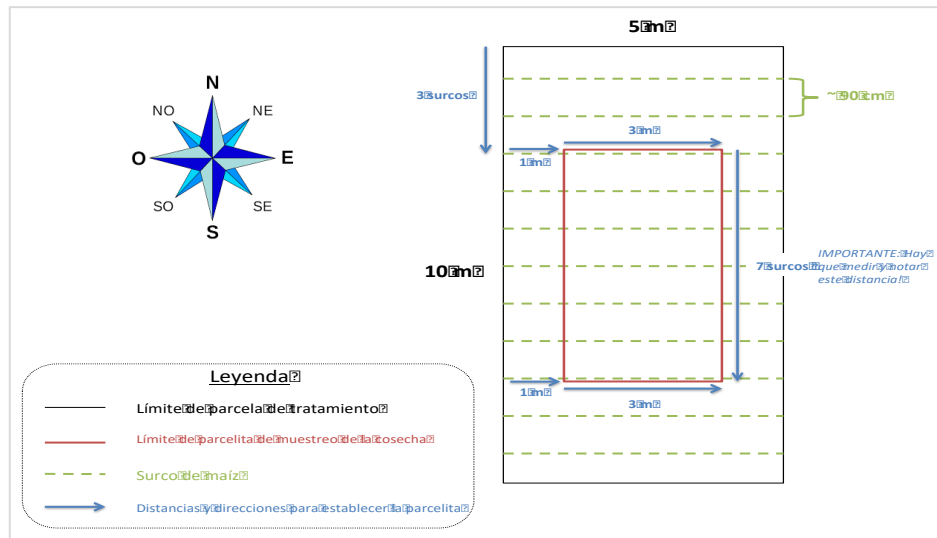


Figura 9. Parcelas experimentales y área de muestreo (Sean Kerney 2015).

Para tomar la muestra en cada subparcela de las 8 fincas fue necesario hacer un cuadro de 3 metros de ancho por 7 metros de largo. Todas las mazorcas que quedaron dentro del cuadro fueron cosechadas y pesadas para luego sacar una sub muestra de 6 mazorcas, las cuales se desgranaron, pesaron y se secaron en el horno.



Figura 10. Medición de la parcela para ubicar los tratamientos.

## **6.5. Análisis químico del suelo**

Se realizó el análisis químico de muestras de suelo. A las que se les determinó el contenido de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn) y cobre (Cu), para establecer el potencial agrícola. Las muestras fueron tomadas en cada una de las parcelas experimentales, los análisis se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador

### **6.5.1. Determinación de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg)**

La disponibilidad de fósforo en el suelo, así como la de los otros nutrientes se estima multiplicando la cantidad de elemento extractado durante el análisis por un factor de dilución (FD) que varía según el elemento y el método de extracción usado. Así para el caso del fósforo la fórmula general es:

$$P \text{ en el suelo (ppm)} = P \text{ en la muestra (ppm)} \times FD$$

Determinación de Fósforo en suelo, método de azul de molibdeno debido a las diferencias en las condiciones químicas en las soluciones extractoras. También tiene sus propios estándares de fósforo. Para facilitar estas diferencias se preparan soluciones patrones que sirven para todos los métodos.

Reactivo 1: se disolvieron 25 gramos de molibdato de amonio en 500 ml de agua destilada. Se disolvió 1.25 g de Vanadato de amonio en 500 ml de una solución de partes iguales (1:1) de HNO<sub>3</sub> (250 ml) y agua destilada 250 ml. Se preparó una solución fresca momentos antes de usarla, para desarrollo de color, mezclando volúmenes iguales de ambas soluciones.

Reactivo 2: se preparó una solución de 25 partes por millón (ppm) de fósforo y se pesó 0.1098 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, se llevó a 1,000 ml con solución extractora, esta solución se denominó solución patrón de fósforo. Luego se preparó una serie de soluciones con cantidades conocidas de fósforo partiendo de la solución patrón de 25 ppm de fósforo en solución.

**Procedimiento:**

Se pesó en un tubo de centrifuga 2 g de suelo, se añadieron 20 ml de la solución de Cloruro de potasio (KCl), se agito por 10 minutos, se centrifugo y se filtró. Se tomó una alícuota de 0.5 ml y se añadieron 20 ml de solución. Luego se lee en el fotómetro de llama para determinar la concentración de Fosforo en ppm

**6.5.2. Determinación de calcio (Ca) potasio (K), y magnesio (Mg)**

Para determinar las concentraciones de Ca, K y Mg se utiliza un procedimiento general, por medio de una pipeta se tomaron 2.0 ml del filtrado de suelo y 18ml de la solución de sodio, y se preparan los estándares correspondientes para cada elemento a cuantificar;

Para calcio se prepararon estándares de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 ppm.

Para magnesio se prepararon estándares de 0, 0.3, 0.6, 1.2 y 3.6 ppm.

Para Potasio se prepararon estándares de 0, 4, 8, 10,20 ppm

Posteriormente le leyó en el espectrofotómetro de Absorción Atómica cada elemento previa calibración del equipo con cada grupo de estándares.

**6.5.3. Determinación de Zinc (Zn) y cobre (Cu)**

Se pesaron 5 g de suelo seco al aire y tamizado con malla n° 10 (2mm) y transferir a un vaso de 50ml, añadir 20 ml de solución extractora. La relación suelo – extractante es de 1:4.

Agitar por 15 minutos y filtra usando papel de filtro Whatman n° 4. Leer directamente en un espectrofotómetro de absorción atómica (llama aire – acetileno), utilizando los respectivos estándares de Zn y Cu con concentraciones de (0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0) ppm, preparados a partir de una solución de 1000ppm (MAG-CENTA 1993).

**6.5.4. Determinación de la materia orgánica por medio de Walkey Black**

Se pesó 250 mg de suelo seco, se pulverizó y se tamizo en un tamiz de 0.5 mm. Cuando se trató de un suelo que tenía materia orgánica se pesaron entre 100 a 200 mg de suelo. Se puso cada muestra en un Erlenmeyers de 500 ml y se le agrego 10 ml de solución de Dicromato de potasio con una bureta. Se agregó rápidamente 20 ml de Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado, tratando de poner el ácido en el centro del Erlenmeyer que contiene la solución y se agito suavemente con la mano durante un minuto.

Luego se dejó reposar sobre la placa de asbesto durante media hora. Pasado ese tiempo se agregó 200 ml de agua destilada, 10 ml de ácido fosfórico y 3 gotas de indicador difenilamina (1 g de difenilamina disuelto en 100 ml de ácido sulfúrico). Se tituló con solución de sulfato ferroso, agregándole con una bureta, gota a gota hasta un viraje de café oscuro a verde esmeralda.

Cada 5 muestras de suelo se colocó un testigo, que contiene todos los reactivos (sin suelo) y se titula en igual forma que las muestras. Esto sirvió para encontrar el factor.

### **Calculo del porcentaje de materia orgánica:**

El factor (F) se obtuvo dividiendo 10 (ml de Dicromato de potasio 1 N) entre el número de mililitros de Sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) gastados en la titulación (reducción) de los blancos.

$$\text{Factor (F)} = \frac{10}{\text{\# de ml de sulfato ferroso (blanco)}}$$

El producto de multiplicar el factor por el número de mililitros de sulfato ferroso gastado en cada muestra y restado de 10 ml de Dicromato de potasio reducidos por la materia orgánica de cada muestra de suelo es igual a 1% de materia orgánica.

$$10 - (F \times \text{\# ml } \text{FeSO}_4) = \text{ml reducidos de } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7.$$

El número de ml reducidos se multiplico por 2.76 para obtener el 1% de materia orgánica (M.O.).

$$\% \text{ M.O.} = \text{ml reducidos} \times 2.76$$

## 6.6. Análisis de parámetros físicos del suelo

### 6.6.1. Determinación de la textura

Para realizar este análisis fue necesario secar el suelo durante dos días, el tamiz usado fue de 2 mm y se pesaron 100 g de suelo en una balanza semianalítica, se colocó la muestra en un beaker de 250 ml y se agregaron 100 ml de solución de hexametáfosfato-carbonato de sodio. El siguiente paso fue agitar y dejar en contacto por 15 minutos con hexametáfosfato-carbonato de sodio. Luego se conectó el aparato de dispersión eléctrico durante 2 minutos. Después se transfirió la muestra a un cilindro de Bouyoucos y se introdujo un agitador especial, moviendo de arriba hacia abajo al menos seis veces y luego se secó el agitador de bouyoucos, anotando la hora de inicio y se introdujo cuidadosamente un hidrómetro a los 20 segundos, finalmente se llenó el cilindro hasta la marca de 1,000 ml y se tomó la lectura del hidrómetro en g/L y la temperatura en °C.

La 1ª lectura se tomó a los 40 segundos, la 2ª lectura a los 4 minutos, la 3ª lectura una hora después y la 4ª lectura dos horas después de haber introducido el hidrómetro (López y Flores s.f.).

Si la muestra contiene mucha materia orgánica se agregará de 1 a 3 gotas de alcohol etílico sobre la espuma de la materia orgánica para facilitar la lectura del hidrómetro. Luego se calculan los porcentajes con las siguientes formulas:

$$\% \text{ Limo + Arcilla} = \frac{(\text{Lectura corregida a los 40 segundos})}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{(\text{Lectura corregida a las 2 horas})}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla})$$



Figura 11. Análisis de granulometría del suelo en laboratorio.

### 6.6.2. Determinación de la densidad aparente

Se seleccionaron tres sitios de muestreo en cada parcela experimental y se hizo un agujero en cada sitio, teniendo cuidado de sacar íntegra la muestra, colocándola en una bolsa tipo ziploc, luego se colocó un plástico en el agujero y con una probeta plástica se llenó de agua, teniendo cuidado que el agua quedara al mismo nivel del agujero sin derramarse. El volumen total fue la cantidad de agua utilizada medida en la probeta, luego se pesó la muestra de suelo colectada del agujero, la cual fue la masa de suelo húmedo.

Para determinar la humedad gravimétrica de la muestra se pesó en una balanza semianalítica 100 g de cada muestra y se colocó en una caja de aluminio, y ésta en una estufa a 105° C durante 24 horas, después de ese tiempo se secó la muestra en una desecadora aproximadamente durante dos horas y se pesó nuevamente en la balanza para obtener la masa de suelo seco (López y Flores s.f.).

La densidad aparente se calculó con las siguientes formulas:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{M_{ss}}{V_t} = \frac{100 \times \text{Masa de suelo húmedo}}{\text{Volumen total de agua en cm}^3 (\%Hg+100)}$$



Figura 12. Toma de muestras de suelo para análisis de densidad aparente.

### **6.6.3. Prueba de permeabilidad**

Esta prueba se realizó con la ayuda de un Permeámetro de Guelph, para lo cual se excavo un agujero cilíndrico de radio y profundidad constante, en el cual se realizaron ensayos de infiltración manteniendo la altura del agua dentro del agujero constante, lo que permitió obtener la conductividad hidráulica saturada ( $K_{fs}$ ), que es la relación entre el caudal infiltrado y el nivel de agua en el agujero.

El Permeámetro de Guelph consta de dos tubos, uno que actúa como depósito de agua y otro de menores dimensiones que se pone en contacto con el suelo y lleva acoplado un sistema que permite mantener la carga hidráulica constante (tubo Mariotte). Esta prueba se realizó una vez al iniciar la época lluviosa (Forsythe 1985).





Figura 13. Toma de datos de permeabilidad con el Permeámetro de Guelph.

#### **6.6.4. Prueba de infiltración**

La prueba de infiltración se realizó de la siguiente manera:

- a) Se seleccionó al azar el lugar de muestreo, tratando de que no tenga piedras para no interferir en los resultados.
- b) Se limpió de cualquier material vegetal el lugar seleccionado.
- c) Se introdujeron los anillos a 0.20 m.
- d) Se agregó agua en los dos anillos (hasta 5 cm).
- e) Se registró el nivel inicial de agua y el tiempo.
- f) Se realizaron mediciones de consumo de agua en el suelo a intervalos de 3, 5, 10, 30 y 60 minutos.
- g) El proceso finalizó cuando entre lecturas sucesivas de intervalos de mayor tiempo fueron iguales.
- h) Se adiciono agua al cilindro a manera que se facilite la lectura en la regla (evitando pérdida de tiempo) e inmediatamente se leyó sobre la regla donde está el nivel y hasta donde llego el agua.
- i) Se manejan los datos observados para encontrar la ecuación general de la lámina de riego. Esta prueba se realizó al inicio de la época de lluvia.



Figura 14. Toma de datos en la prueba de infiltración.

### 6.7. Medición de la precipitación

Los datos de precipitación se tomaron con la instalación de cuatro pluviómetros, colocando uno en cada zona de estudio, estos fueron entregados a cuatro productores y ellos fueron los encargados de llevar la lectura de los pluviómetros día a día y anotar los datos en una ficha de campo. Esta información se utilizó para analizar el desarrollo del cultivo.



Figura 15. Toma de datos de lluvia con el pluviómetro.

### 6.8. Procedimiento para monitorear la morfología de las plantas

Para realizar esta actividad se llevó un control en una ficha por cada tratamiento (anexo 19), esto se realizó cada 15 días, tomando una muestra de 10 plantas de maíz al azar por cada tratamiento, a las cuales se les midió la altura, diámetro de la planta, número de hojas.

## **6.9. Área de muestreo de la cosecha**

Se midió el largo del área para el muestreo de la cosecha (la distancia entre el 3<sup>er</sup> surco que es el límite superior y el 9<sup>o</sup> surco que es el límite inferior, que abarca 7 surcos), luego se contó el número total de plantas en el área del tratamiento y el número de plantas cosechadas sin ninguna mazorca. Se cosecharon todas las mazorcas del área de cada muestreo y se colocaron en una bolsa con el código de cada tratamiento.

## **6.10. Cosecha del maíz**

Para evaluar la cosecha de maíz, primero se separaron las mazorcas con granos podridos de las mazorcas con granos sanos, luego se contó el número de mazorcas sanas y se pesaron en una balanza. Se contó el número de mazorcas enfermas o dañadas y se pesaron.

Del total de mazorcas sanas se seleccionaron al azar 6 mazorcas. Si hay menos de 6 mazorcas sanas, se colectan todas las mazorcas que haya; se colocaron en una bolsa de papel, se identificó cada bolsa con el código de la finca y el tratamiento, y se trasladaron a la oficina del proyecto LACREG para pesar las 6 mazorcas sanas en una balanza semianalítica, luego se desgranaron las 6 mazorcas en una bandeja, separando el grano bueno (comestible) del grano dañado y se pesaron por separado.

### **6.10.1. Humedad del grano**

Para calcular la humedad del grano se pesaron las cajas de aluminio vacías en una balanza semianalítica, luego se colocaron los granos de maíz sanos dentro de la caja de aluminio hasta que quedara llena y se anotó el peso de los granos; cada caja se rotuló con el código de cada productor.

Las cajas llenas de granos de maíz se colocaron en el horno por 24 horas a una temperatura de 60° C, después se sacaron las muestras del horno y se ubicaron en el desecador, para posteriormente ser pesadas nuevamente. Se anotó el peso de la caja en la ficha de datos (anexo 19). Finalmente se determinó el peso de la cosecha en kg/h.

## VII. Discusión de Resultados

En esta investigación uno de los Objetivos Específicos fue Evaluar las propiedades físicas e hídricas del suelo en las parcelas experimentales de maíz en cuatro municipios de La Montañona, obteniendo los siguientes resultados:

### 7.1. Resultados del análisis de suelo

Los resultados de los análisis de suelo que se realizaron a cada parcela se presentan a continuación (anexo 10).

#### 7.1.1. pH

Según los resultados de los análisis de suelo, de las 8 fincas o parcelas analizadas solo la finca 8 que está ubicada en Guarjila presenta el pH más bajo con un valor de 5.3. En todas las demás fincas el pH se encuentra dentro del rango óptimo de 5.5 a 7.8 (cuadro 5).

Cuadro 6. Resultados de pH según los análisis de suelo.

<b>Finca</b>	<b>*Código</b>	<b>Significado del Código</b>	<b>pH</b>
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	5.8
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	5.5
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	6.1
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	5.7
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	6.5
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	5.7
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	5.6
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	5.3
	*Rango óptimo		5.5 a 7.8

Fuente: \*\*MAG-CENTA (1995).

\*Significado de los códigos:

Lag-lag-ami-4: finca 1, corresponde al municipio La Laguna 1, Miguel-4.

Lag-lag-ami-3: finca 2, corresponde al municipio La Laguna, productor 3.

Cha-Upa-Irm-2: finca 3, corresponde al municipio de Chalatenango en Upatoro.

Cha-Upa-Irm-4: finca 4, corresponde al municipio de Chalatenango en Upatoro.

Las-Los-Ric-1: finca 5, corresponde al municipio Las Vueltas, productor 1.

Las-Vuel-Ric-2: finca 6, corresponde al municipio Las Vueltas, productor 2

Cha-Gua-Ja-4: finca 7, corresponde al municipio de Chalatenango en Guarjilita.

Cha-Gua-Ja-5: finca 8, corresponde al municipio de Chalatenango en Guarjilita.

Jaramillo (2002) menciona que suelos con pH ácidos presentan toxicidad alta por aluminio y es necesario hacer análisis de este catión para comparar la saturación que tiene el suelo y evaluarlo con los niveles de tolerancia del cultivo de maíz.

Según MAG-CENTA (1995), los suelos que presentan valores de pH inferiores a 5.5 a menudo tienen problemas de toxicidad por aluminio y magnesio, además de carencia de fósforo y magnesio. Suelos con pH superior a 8 tienden a presentar carencia de hierro, magnesio y zinc.

### 7.1.2. Fósforo

De todas las fincas muestreadas, el 100% de ellas tiene contenido de Fósforo mayores al nivel óptimo que es de 20.1 a 30 ppm.

Cuadro 7. Resultados de Fósforo según los análisis de suelo.

<b>Finca</b>	<b>Código</b>	<b>Significado del Código</b>	<b>Fósforo (ppm)</b>
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	140.97
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	82.71
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	49.81
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	57.14
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	196.42
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	70.86
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	31.39
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	32.51
	*Rango óptimo		20.1 a 30

Fuente: \*Bernier (1986).

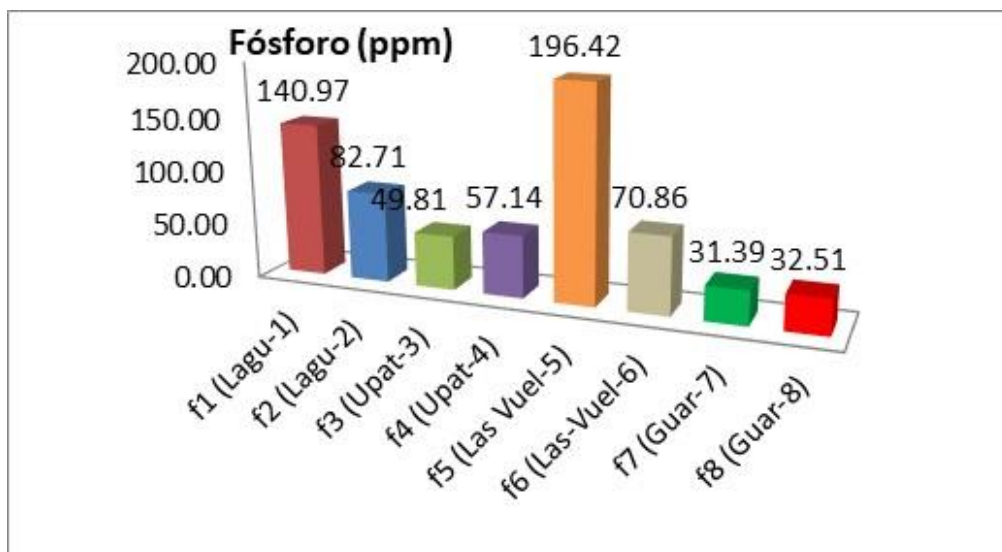


Figura 16 Contenido de Magnesio en el suelo en las 8 fincas muestreadas.

Bernier (1986) menciona que el nivel óptimo de Fósforo en el cultivo de maíz es entre 20.1 a 30 ppm.

Si el cultivo de maíz no cuenta con los requerimientos de fósforo necesarios, esto contribuye a disminuir el número de granos por mazorca, afectando el rendimiento del cultivo; sin embargo, un aumento de fósforo en los suelos no afecta el cultivo ya que el fósforo se acumula en las partes vegetativas de las plantas hasta la floración, para luego ser removido hacia los granos en crecimiento (Zubilaga 1999).

### 7.1.3. Potasio

De todas las fincas muestreadas, el 100% de ellas tiene contenido de Potasio mayores de cero.

Según CENTA (1979), el nivel óptimo de potasio en el suelo para el cultivo del maíz es arriba de cero. Un valor de potasio por debajo de cero partes por millón indica que el suelo necesita que se le aplique potasio para obtener una buena cosecha de maíz.

Cuadro 8. Resultados de Potasio según los análisis de suelo.

Finca	Código	Significado del Código	Potasio (%)
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	0.01
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	0.01
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	0.01
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	0.01
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	0.03
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	0.03
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	0.02
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	0.01
	*Rango óptimo		Mayor a 0

Fuente: \*CENTA (1979).

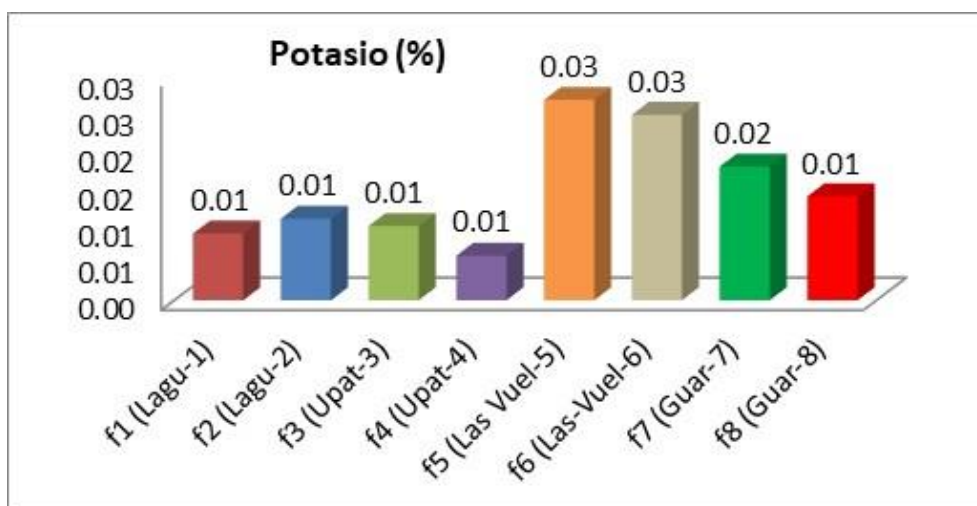


Figura 17. Contenido de Potasio en el suelo en las 8 fincas muestreadas.

Según Murrell (2009), la deficiencia de potasio afecta el crecimiento, lo que resulta en plantas más pequeñas, reduciendo las dimensiones de las hojas y el área foliar, la planta puede tener un desarrollo vegetativo lento, retraso en la formación de la floración masculina (panoja) y de la floración femenina (estigma), la planta puede ser afectada fácilmente por enfermedades como el acame.

#### 7.1.4. Calcio

De todas las fincas muestreadas, el 100% de ellas tiene contenido de Calcio mayores al nivel óptimo.

Según el MAG-CENTA (1995), el valor óptimo de calcio en el suelo para el cultivo de maíz es de 15.2 ppm.

Cuadro 9. Resultados de Calcio según los análisis de suelo

Finca	Código	Significado del Código	Calcio (ppm)
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	1,375
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	1,875
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	1,500
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	1,625
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	2,875
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	1,500
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	750
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	750
	*Rango óptimo		15.2

Fuente: \*MAG-CENTA (1995).

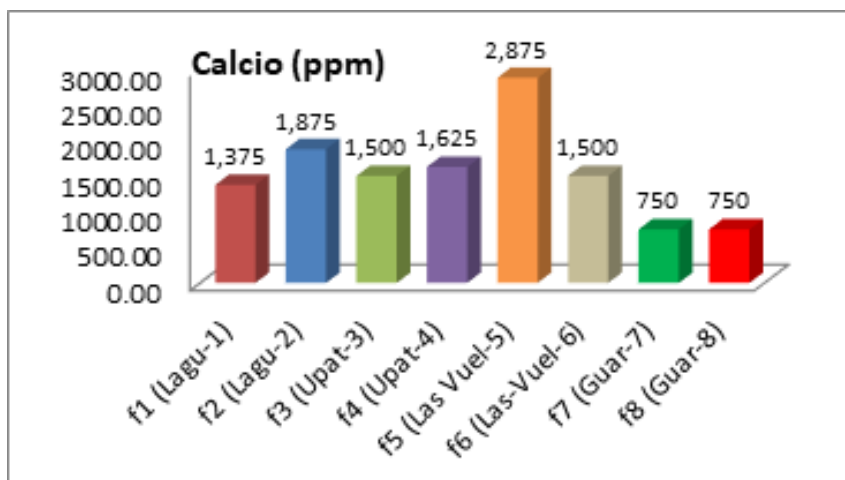


Figura 18. Contenido de Calcio en el suelo en las 8 fincas muestreadas.

### 7.1.5. Magnesio

De todas las fincas muestreadas, el 100% de ellas tiene contenido de Magnesio mayores al nivel óptimo.

Según el MAG-CENTA (1995), el valor óptimo de Magnesio en el suelo para el cultivo de maíz es de 17.6 ppm.



Cuadro 10. Resultados de Magnesio según los análisis de suelo.

Finca	Código	Significado del Código	Magnesio (ppm)
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	139.63
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	377
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	421.38
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	374.87
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	504.38
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	93.38
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	154.50
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	161.50
	*Rango óptimo		17.6

Fuente: \*MAG-CENTA (1995).

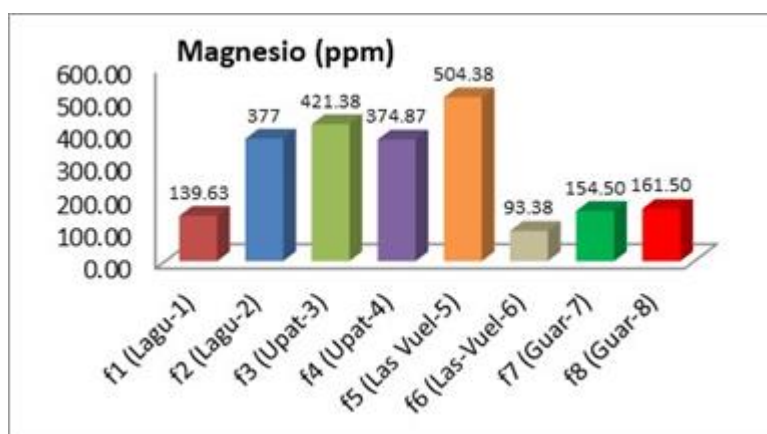


Figura 19. Contenido de Magnesio en el suelo en las 8 fincas muestreadas

### 7.1.6. Zinc

De todas las fincas muestreadas, el 100% de ellas tiene contenido de Zinc mayores al nivel óptimo.

Según el MAG-CENTA (1995), el valor óptimo de Zinc en el suelo para el cultivo de maíz es de 0.1 ppm.

Cuadro 11. Resultados de Zinc según los análisis de suelo.

Finca	Código	Significado del Código	Zinc (ppm)
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	2.00
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	1.43
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	2.36
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	1.79
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	1.10
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	0.64
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	1.92
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	2.07
	*Rango óptimo		0.1

Fuente: \*MAG-CENTA (1995).

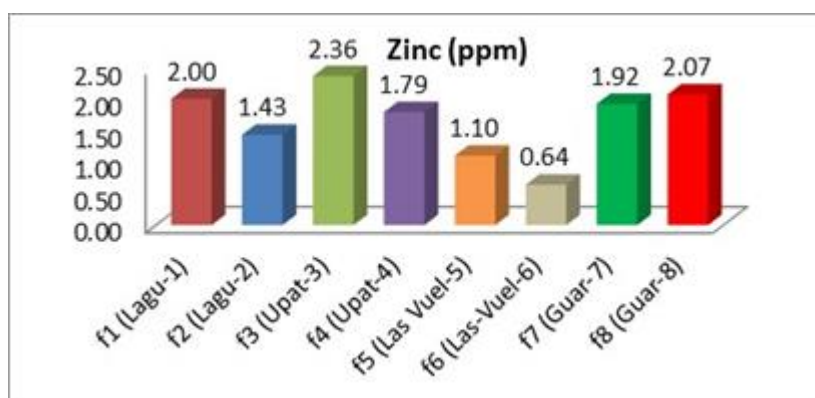


Figura 20. Contenido de Zinc en el suelo en las 8 fincas muestreadas.

### 7.1.7. Cobre

De todas las fincas muestreadas, el 100% de ellas tiene contenido de Cobre menor al nivel óptimo.

Según el MAG-CENTA (1995), el valor óptimo de Cobre en el suelo para el cultivo de maíz es de 0.1 ppm.

Cuadro 12. Resultados de Zinc según los análisis de suelo.

<b>Finca</b>	<b>Código</b>	<b>Significado del Código</b>	<b>Cobre (ppm)</b>
F1	Lag-lag-ami-4	La Laguna	Menor a 0.1
F2	Lag-lag-ami-3	La Laguna	Menor a 0.1
F3	Cha-Upa-Irm-2	Upatoro	Menor a 0.1
F4	Cha-Upa-Irm-4	Upatoro	Menor a 0.1
F5	Las-Los-Ric-1	Las Vueltas	Menor a 0.1
F6	Las-Vuel-Ric-2	Las Vueltas	Menor a 0.1
F7	Cha-Gua-Ja-4	Guarjila	Menor a 0.1
F8	Cha-Gua-Ja-5	Guarjila	Menor a 0.1
	*Rango óptimo		0.1

Fuente: \*MAG-CENTA (1995).

## 7.2. Textura del suelo

En los resultados de los análisis de suelo que se realizaron en las 8 fincas experimentales se obtuvo que la finca 1, 2, 5, 6, 7 y 8 la textura del suelo es Franco arenoso y en las fincas 3 y 4 ubicadas en Upatoro la textura del suelo es Franco arcillo arenoso (anexo 1 al 8).

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo reportado por USAID y ABES (2015), quienes manifiestan que la textura del suelo en los municipios de la Mancomunidad La Montañona es similar entre ellos y predominan las texturas Franco arcillo arenoso y Franco arenosos.

## 7.3. Densidad Aparente

Al comparar los datos de la densidad aparente con el contenido de humedad en los sitios de muestreo, la densidad en las cuatro zonas de la investigación está por arriba de 1 (cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de la densidad aparente con la humedad del suelo.

<b>Finca</b>	<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>Humedad entre 0-5 cm de profundidad</b>	<b>Humedad entre 5-20 cm de profundidad</b>
F1 y F2 (La Laguna)	1.57 g/cm <sup>3</sup>	38.08%	29.86%
F3 y F4 (Upatoro)	1.55 g/cm <sup>3</sup>	31.88%	32.52%
F5 y F6 (Las Vueltas)	1.56 g/cm <sup>3</sup>	30.86%	27.49%
F7 y F8 (Guarjila)	1.19 g/cm <sup>3</sup>	29.76%	31.88%

Fuente: Elaboración propia (2016).

Según Rubio (2010), la densidad aparente para el crecimiento de las raíces varía según la textura que presenta el suelo y de la especie que se trate. Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

La densidad aparente (seca) de un suelo mineral es normalmente aproximadamente entre 1.0 y 1.6 g/cm<sup>3</sup>. En contraste, los suelos ricos en carbono orgánico del suelo y algunas arcillas friables tienden a tener densidades aparentes más bajas (menos de 1.0 g/cm<sup>3</sup>) debido a una combinación de la baja densidad de los materiales orgánicos en sí mismos y una mayor porosidad. Por ejemplo, los suelos de turba tienen densidades aparentes de 0.02 g/cm<sup>3</sup> a 0.98 g/cm<sup>3</sup> (Wikipedia 2020).

Por lo anterior se concluye que los suelos de La Laguna, Upatoro, Las Vueltas y Guarjila a pesar de que tienen densidades aparentes normales, retienen poca humedad (Salamanca 2005).

Domínguez (2005) menciona que la densidad aparente tiende a aumentar debido a la compactación causada por el pisoteo del ganado y la labranza inadecuada; y que a medida que el contenido de materia orgánica se incrementa el valor de la densidad aparente disminuye. Lo

anterior se debe a que la materia orgánica favorece la estructura del suelo, lo cual hace que aumente la porosidad y por ende el volumen del suelo, dando como resultado una disminución en la densidad aparente.

#### 7.4. Permeabilidad

Antes de la siembra del maíz se realizaron pruebas de permeabilidad en tres de las parcelas seleccionadas a excepción de las parcelas ubicadas en Las Vueltas. Los resultados fueron los siguientes: los terrenos de las parcelas ubicadas en el municipio de La Laguna tienen una permeabilidad muy rápida, y las ubicadas en Upatoro y Guarjila presentan una permeabilidad lenta, por lo que el agua tarda más tiempo en llenar los poros del suelo (cuadro 14).

En Las Vueltas no fue posible hacer la prueba de permeabilidad debido a las condiciones climáticas en el momento de hacer las pruebas y que el sitio en donde se iba a realizar la prueba había mucha graba y no logro introducirse el permeámetro.

Cuadro 14. Permeabilidad del suelo en las parcelas de muestreo.

<b>Municipio</b>	<b>Kfs (cm/h)</b>	<b>Evaluación</b>
La Laguna	14.01	Muy rápida
Upatoro	0.14	Lenta
Guarjila	1.94	Lenta

Fuente: Elaboración propia (2016).

Cisneros (2003) menciona que los suelos con permeabilidad lenta a moderadamente lenta presentan valores entre 0.0036 cm/h y 2 cm/h; y Vega (2007) dice que los suelos con permeabilidad muy rápida presentan valores entre 3.6 cm/h y 36 cm/h, lo cual coincide con los valores obtenidos en esta investigación.

#### 7.5. Infiltración

El 100% de los suelos muestreados presentaron una infiltración por debajo de 40 cm/hora, por lo que se considera que presentan una infiltración moderada, debido a que los suelos de las parcelas en los municipios de La Laguna y de Guarjila son suelos Franco arenoso, y en Upatoro son suelos Franco arcillo arenosos.

Cuadro 15. Infiltración en las parcelas de muestreo.

<b>Lugar del muestreo</b>	<b>Infiltración (cm/h)</b>
La Laguna	33.04
Upatoro	36.53
Guarjila	19.58

Fuente: Elaboración propia (2016).

Palacios *et al* (2003) manifiestan que los suelos con textura franco arenosa y franco arcillo arenosa presentan una infiltración moderada. Según USAID y ABES (2015), la tasa de infiltración de agua en los siete municipios de la Mancomunidad La Montañona varió considerablemente en los estudios que realizaron, pero fueron generalmente bajas e indicaron un riesgo moderado generalizado de escorrentía y en algunas instancias de alto riesgo, por lo que las propiedades físicas del suelo estaban menos relacionadas con la elevación, a diferencia de las propiedades químicas las cuales a menudo estuvieron correlacionadas con la elevación.

En las Vueltas no fue posible hacer la prueba de infiltración debido a las condiciones climáticas en el momento de hacer la prueba y por el tipo de suelo fue imposible poder introducir los anillos concéntricos.

El 2º Objetivo Específico de esta investigación fue evaluar el rendimiento del cultivo de maíz manejado con cinco programas de fertilización en cuatro municipios de la mancomunidad La Montañona, obteniendo los siguientes resultados:

#### **7.6. Producción de maíz**

El tratamiento con el que se obtuvieron los mejores rendimientos en esta investigación fue el T4 con una productividad de 42.92 qq/mz, que equivale a 2,786.54 kg/ha; seguido por el tratamiento T3 con 41.29 qq/mz que equivale a 2,681.10 kg/ha; luego el T1 con un rendimiento de 38.08 qq/mz que equivale a 2,472.48 kg/ha; el T2 con una productividad de 37.70 qq/mz que equivale a 2,447.81 kg/ha; el T6 o Testigo con 34.33 qq/mz que equivale a 2,229.00 kg/ha; y el menor rendimiento se obtuvo con el T5 en 34.10 qq/mz que equivale a 2,213.87 kg/ha, el error no es significativo ya que fue 0.05.

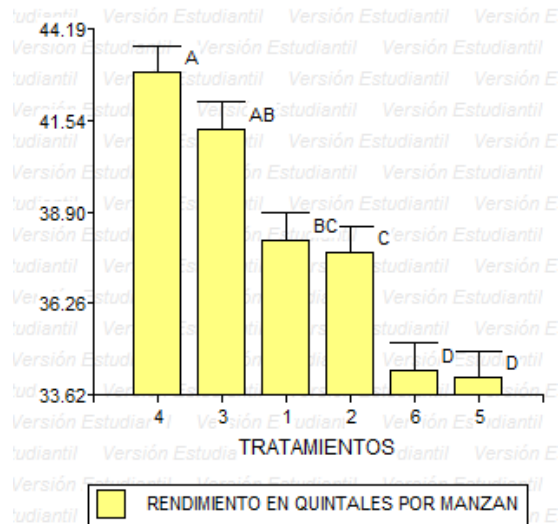


Figura 21. Rendimiento en quintales por manzana en los 6 tratamientos.

El mayor rendimiento de maíz por finca se obtuvo en la finca 6 de Las Vueltas con 42.92 qq/mz, que equivale a 2,786.54 kg/ha; seguido por la finca 8 de Guarjila con una productividad de 39.76 qq/mz que equivale a 2,581.56 kg/ha; luego la finca 7 de Guarjila con 38.81 qq/mz que equivale a 2,519.88 kg/ha; la finca 3 de Upatoro con un rendimiento de 38.26 qq/mz que equivale a 2,484.17 kg/ha; la finca 2 de La Laguna con 37.27 qq/mz que equivale a 2,419.89 kg/ha; la finca 1 de La Laguna con una productividad de 36.65 qq/mz que equivale a 2,379.63 kg/ha; la finca 4 en Upatoro con 36.62 qq/mz que equivale a 2,377.68 kg/ha; y el menor rendimiento se obtuvo en la finca 5 en Las Vueltas con 35.24 qq/mz que equivale a 2,288.08 kg/ha, con un error de 0.05.

Según el MAG-CENTA (2004), la producción de maíz de la variedad H59 es de 5,843.57 kg/ha; sin embargo, debido a la sequía severa que se presentó en el año 2015 a nivel nacional el MAG-CENTA (2016) reporta que la cosecha de esta variedad fue de 2,512.73 kg/ha.

El promedio de la producción de maíz reportado por USAID *et al* (2015) fue de 1,500 kg/ha; y al comparar estos resultados con la cosecha obtenida en esta investigación, los rendimientos fueron mejores.

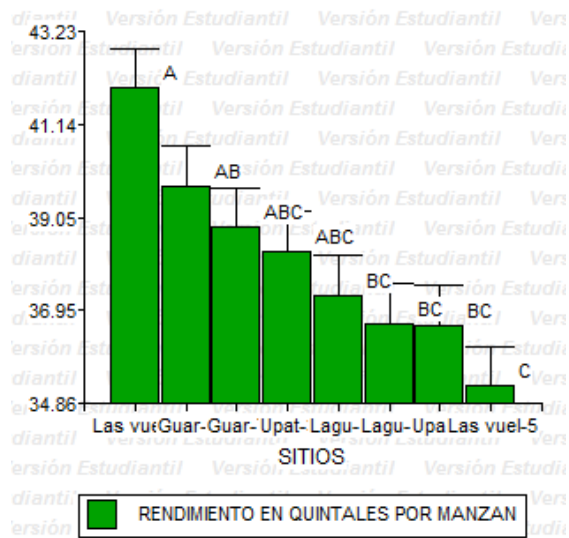


Figura 22. Rendimiento en quintales por manzana en las 8 fincas.

Según Kearney (s. f.), los sistemas agroforestales de corte y mulch aumentan la productividad, la rentabilidad y la capacidad de las fincas agrícolas, además, permiten adaptarse al cambio climático e impactar en la biodiversidad del paisaje y de otros servicios del ecosistema.

A pesar de que en las parcelas ubicadas en Las Vueltas se presentaron precipitaciones similares y todas fueron manejadas con tratamiento Quesengual, se registraron diferencias significativas en cuanto a la cosecha, probablemente asociadas a factores humanos relacionados con el manejo de la finca realizado por cada agricultor. La influencia de estos factores puede ser evaluada en investigaciones futuras.

Al hacer la comparación entre tratamientos en las 8 fincas, el Tratamiento 6 o Testigo presentó la menor cosecha, con una media de 20.30, y la mayor cosecha entre fincas se obtuvo en el Tratamiento 5 con una media de 30.96, la diferencia no es significativa con un valor menor de 0.05 (cuadro 16).



Cuadro 16. Análisis estadístico de la cosecha de maíz en qq/mz.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=21.80020  
 Error: 213.3143 gl: 42

Tratamiento	Medias	n	E.E.
6.00	20.30	8	5.16 A
1.00	23.71	8	5.16 A
2.00	26.22	8	5.16 A
4.00	30.71	8	5.16 A
3.00	30.80	8	5.16 A
5.00	30.96	8	5.16 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Al hacer la comparación entre las 8 fincas, la finca 3 ubicada en Upatoro fue la que presentó la menor media con 13,46, la mayor media se obtuvo en la finca 5 ubicada en Las Vueltas con 46.94, el valor no es significativo ya que tienen una diferencia menor de 0.05 (cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis estadístico de la cosecha de maíz en qq/mz en cada finca.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=19.86392  
 Error: 115.8514 gl: 40

Finca	Medias	n	E.E.
3.00	13.46	6	4.39 A
4.00	16.51	6	4.39 A B
6.00	20.13	6	4.39 A B
7.00	25.61	6	4.39 A B
8.00	25.80	6	4.39 A B
1.00	32.20	6	4.39 A B C
2.00	36.28	6	4.39 B C
5.00	46.94	6	4.39 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### 7.6.1. Precipitación en la zona de estudio

De acuerdo a Cisneros (2003) en la producción de maíz son útiles sólo las lluvias mayores a 15 mm, es decir, si cae una lluvia de 20 mm se considera como haber aplicado un riego de 5 mm. Además, los días con temperaturas altas, vientos fuertes y aire seco, provocan mayores pérdidas de agua en el suelo y mayor consumo por las plantas. En las parcelas estudiadas, los registros de precipitación diaria indican que cuando hay lluvia, se suplía la necesidad de agua para la planta, favoreciendo su desarrollo. La dificultad se presenta con la presencia de varios días consecutivos sin lluvia.

En Las Vueltas el promedio de precipitación por día fue de 20.39 mm, con un mínimo de 5 mm y un máximo de 50 mm (ver figura 23). El Acumulado en el mes de julio fue de 122 mm, en agosto 105 mm, en septiembre 205 mm, en octubre 220 mm y en el mes de noviembre 225 mm, totalizando 877 mm para los 5 meses registrados. En una de las parcelas localizadas en la zona de influencia de este pluviómetro se midió el mayor rendimiento lo cual, es concordante con el promedio de lluvias diarias que supera 15 mm, necesarios para el desarrollo del cultivo de maíz (Cisneros 2003).

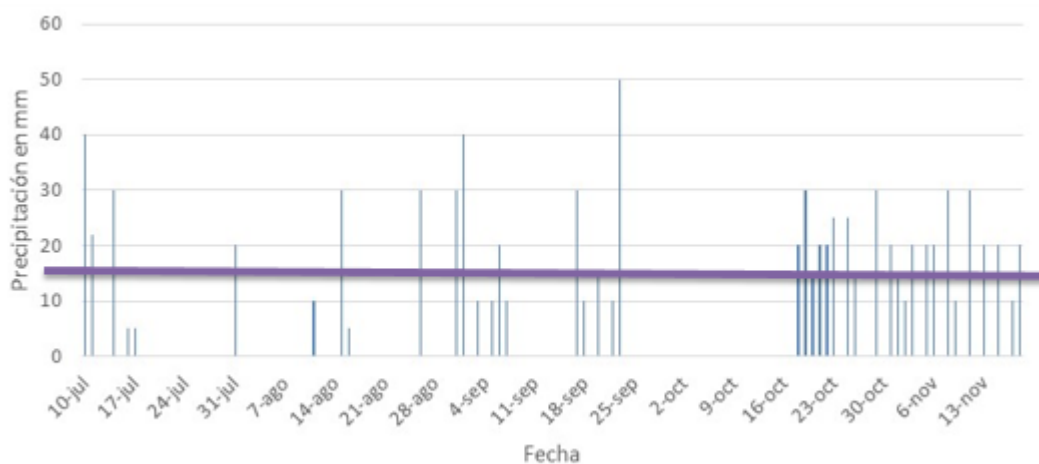


Figura 23. Precipitación por día en Las Vueltas para el año 2015

En Guarjila el promedio de precipitación diaria fue de 26.84 mm, un mínimo de 5 mm y un máximo de 90 mm (ver figura 24). En el mes de junio el acumulado fue de 10 mm, en julio 105 mm, agosto 152 mm, en septiembre 247 mm, octubre 697 mm y en el mes de noviembre el acumulado en el mes fue de 185 mm. Las parcelas localizadas en la zona de influencia de este pluviómetro contaron con el agua suficiente para el desarrollo del cultivo (Cisneros 2003).

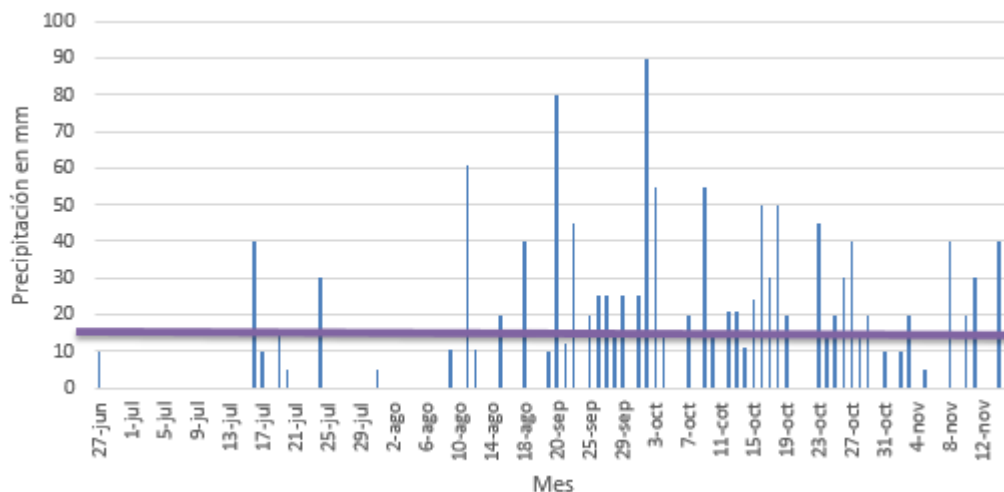


Figura 24. Precipitación por día en Guarjila para el año 2015

Los registros de los pluviómetros localizados en La Laguna y en Upatoro presentaron inconsistencias en los datos, por lo tanto, se decidió no tomarlos en cuenta en la investigación.

Según el MARN (2018), en el año hidrológico 2015-2016 se presentó una sequía fuerte en la mayor parte de El Salvador, debido al fenómeno de El Niño (los registros indican más de 15 días sin precipitaciones durante los meses de lluvia), por lo que la lluvia de ese año fue inferior a la lluvia normal.

En la zona de estudio, en Guarjila se registró un periodo de 18 días sin lluvia en el mes de julio cuando el cultivo estaba en época de floración y 19 días en septiembre cuando el cultivo ya había terminado su ciclo; en el municipio de Las Vueltas se registraron 24 días sin precipitación en el mes de octubre cuando el cultivo ya había terminado su ciclo vegetativo.

Según el IICA (1995), cuando el cultivo de maíz tiene deficiencia de agua en el periodo de floración se reduce la producción en un 25%.

El 3<sup>er</sup> Objetivo Específico de esta investigación fue evaluar la morfología de las plantas de maíz en los seis tratamientos, obteniendo los siguientes resultados:

### 7.7. Diámetro de las plantas

Los tratamientos 2 y 3 presentaron los mayores diámetros de los tallos en las plantas de maíz muestreadas en las 8 fincas y el tratamiento 6 o Testigo presentó los menores diámetros. Los tratamientos 1, 4 y 5 presentaron valores intermedios que están entre los valores mayores y menores registrados.

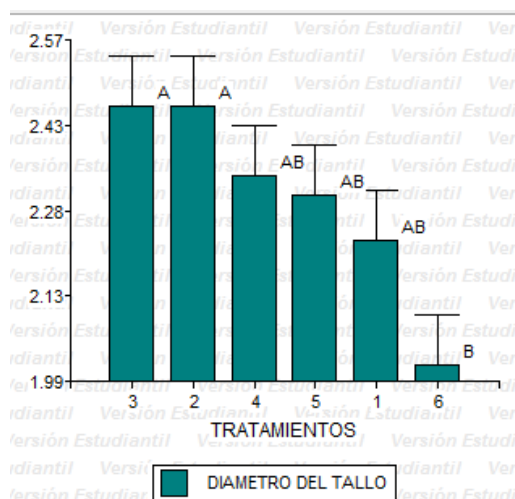


Figura 25. Análisis de varianza del diámetro del tallo por tratamiento.

Según el Análisis de Varianza por finca, no existe diferencia significativa en el diámetro del tallo de las plantas de maíz, ya que la diferencia es menor a 0.05 y solo una finca de Upatoro presento un diámetro menor y el mayor diámetro fue en una finca de Las Vueltas; lo cual demuestra que el diámetro de tallo no estuvo afectado por el estrés hídrico, siendo consistente con el menor número de días de lluvia registrado para este sitio. Estos resultados coinciden con lo reportado por NeSmith y Ritchie (1992).

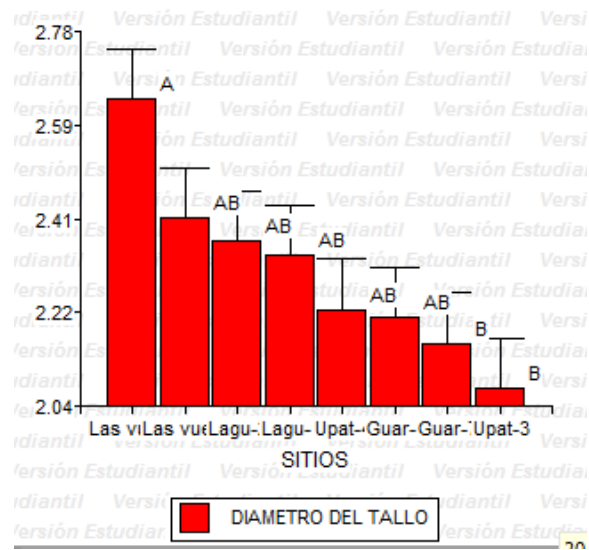


Figura 26. Análisis de varianza del diámetro del tallo en las 8 fincas.

Al realizar la prueba de medias de Tukey de los 6 tratamientos en las 8 fincas para el parámetro diámetro del tallo de las plantas, en 10 plantas que se midieron por cada uno de los tratamientos se obtuvo un Coeficiente de Variación menor de 3, y entre tratamientos el único que presenta una diferencia significativa es el tratamiento 6 o Testigo, debido a que el diámetro del tallo de las plantas es menor en las 8 fincas experimentales, con un error menor a 0.05, por lo que no existe diferencia significativa en el diámetro del tallo.

Cuadro 18. Análisis estadístico del diámetro del tallo de las plantas por tratamiento.

```

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15774
Error: 0.1221 gl: 474
Tratamiento Medias n E.E.
-----
6.00          2.02 80 0.04 A
1.00          2.30 80 0.04 B
5.00          2.31 80 0.04 B C
4.00          2.34 80 0.04 B C
3.00          2.43 80 0.04 B C
2.00          2.46 80 0.04 C
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

```

Al realizar el análisis estadístico del diámetro del tallo de las plantas por tratamiento (cuadro 19), el tratamiento 3 presento el menor rango de medias con un valor de 2.07 y el mayor rango

de medias se observó en el tratamiento 5 con una media de 2.64, sin embargo, el valor no fue significativo ya que la diferencia fue menor de 0.05.

Cuadro 19. Análisis estadístico del diámetro del tallo de las plantas en las 8 fincas.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.18944  
 Error: 0.1167 gl: 472

Finca	Medias	n	E.E.	
3.00	2.07	60	0.04	A
8.00	2.17	60	0.04	A B
4.00	2.23	60	0.04	A B C
7.00	2.25	60	0.04	A B C
1.00	2.34	60	0.04	B C
2.00	2.36	60	0.04	C
6.00	2.41	60	0.04	C
5.00	2.64	60	0.04	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

### 7.8. Número de hojas por planta de maíz

El tratamiento 5 presentó el mayor número de hojas por planta con 13 hojas; los tratamientos 1 y 6 presentaron el menor número de hojas por planta con 12 hojas cada uno.

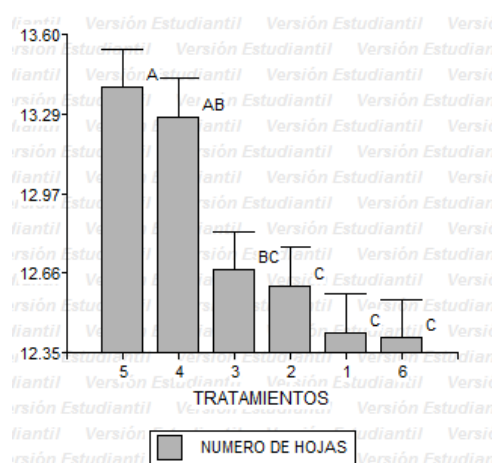


Figura 27. Análisis de varianza del número de hojas en los 6 tratamientos.

La finca 4 ubicada en Upatoro presentó el mayor número de hojas por planta con 15 hojas; y en la finca 2 en La Laguna se registró el menor número de hojas por planta con 14 hojas (ver figura 28).

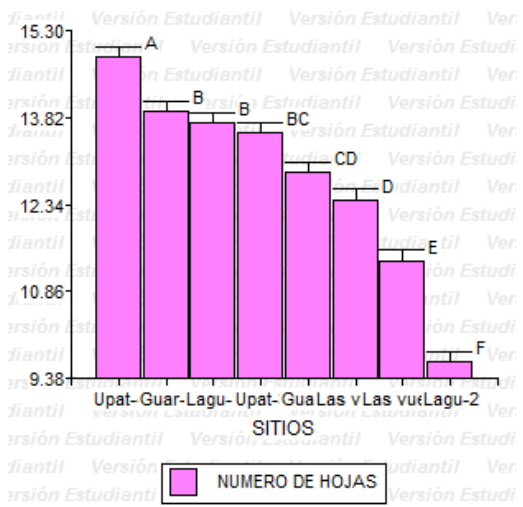


Figura 28. Análisis de varianza del número de hojas en las 8 fincas.

Al realizar la prueba de medias de Tukey del número de hojas en las 8 fincas en 10 plantas que se midieron por cada uno de los tratamientos, la finca que presento el mayor número de hojas fue el Tratamiento 1 de Upatoro (finca 3) y el menor número de hojas lo presento el Tratamiento 1 de La Laguna (finca 2), el error fue menor a 0.05, por lo que no existe diferencia significativa en el número de hojas en las 8 fincas (figura 28).

Cuadro 20. Análisis estadístico del número de hojas por tratamiento.

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.85047  
 Error: 3.5489 gl: 474

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
6.00	11.99	80	0.21	A
1.00	12.43	80	0.21	A
3.00	12.54	80	0.21	A
5.00	12.72	80	0.21	A
2.00	12.81	80	0.21	A
4.00	14.04	80	0.21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

En el análisis estadístico del número de hojas por tratamiento (cuadro 21), el Tratamiento 2 presento el menor rango de medias con un valor de 9.65 y el mayor rango de medias se observó en el tratamiento 4 con 14.75; sin embargo, el valor no fue significativo ya que la diferencia fue menor de 0.05.

Cuadro 21. Análisis estadístico del número de hojas por planta de maíz en las 8 fincas.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.71753  
 Error: 1.6742 gl: 472

Finca	Medias	n	E.E.	
2.00	9.65	60	0.17	A
5.00	11.38	60	0.17	B
6.00	12.52	60	0.17	C
7.00	12.75	60	0.17	C
3.00	13.50	60	0.17	D
1.00	13.65	60	0.17	D
8.00	13.83	60	0.17	D
4.00	14.75	60	0.17	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Según CENTA (2000), el número de hojas en las plantas de maíz está regulado por factores genéticos y por climáticos.

### 7.9. Altura de las plantas de maíz

La mayor altura de las plantas de maíz se obtuvo con el tratamiento 4 con una altura de 2.8 metros, y la menor altura se obtuvo en los tratamientos 5 y 6 con 1.62 m. En el tratamiento 3 se logró una altura de planta de 1.85 m, en el tratamiento 1 y 2 se tuvieron alturas de 1.77 m.

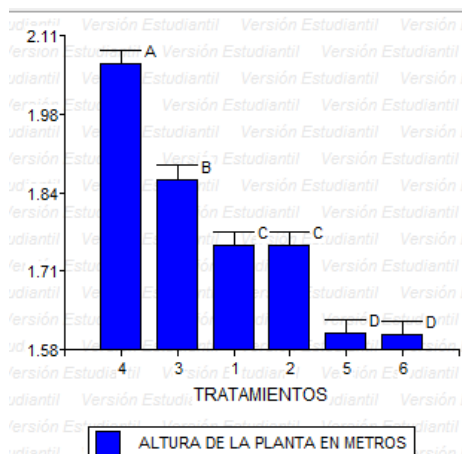


Figura 29. Análisis de varianza para altura de plantas por tratamiento.

Serna, Trujillo & Urrea (2011) mencionan que la reacción de las plantas ante la aplicación de un fertilizante es clara y significativa al momento de evaluar la altura de la planta, lo cual se logró observar en esta investigación.



La finca que presentó la mayor altura de las plantas de maíz (ver figura 30), fue la finca 1 de La Laguna con una altura de 1.93 metros; seguido por la finca 7 de Guarjilita con 1.88 m, la finca 6 en Las Vueltas con 1.83 m, finca 2 de La Laguna con 1.82 m, finca 8 de Guarjilita con 1.77 m; finca 4 de Upatoro con 1.76 m; finca 5 de Guarjilita con 1.71 m; y por último la finca 3 de Upatoro con 1.48 metros.

En la finca 3 de Upatoro, posiblemente la sombra de los árboles provocó una competencia del cultivo-árboles, sumado a esto también la falta de agua ya que en las parcelas de Upatoro se registraron más días sin lluvia, por lo que el cultivo no logro desarrollarse de la mejor forma.

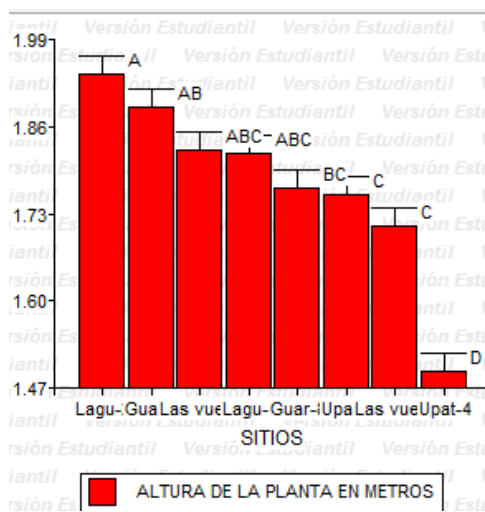


Figura 30. Análisis de varianza de altura de plantas en las 8 fincas.

## VIII. Conclusiones

- La mayor producción de maíz se obtuvo con el tratamiento 4 con 42.92 qq/mz (2,786.54 kg/ha) y la menor producción fue con el tratamiento 5 con 34.10 qq/mz (2,213.87 kg/ha).
- La mayor producción de maíz se obtuvo con el tratamiento 4 en donde se aplicó a cada planta 2.10 g de fórmula 15-15-15, 3.30 g de Sulfato de amonio y 62.50 g de Bocashi.
- La menor producción de maíz se obtuvo con el tratamiento 5 en donde se aplicó a cada planta 125 g de fertilizante orgánico Bocashi.
- Los suelos de las parcelas ubicadas en La Laguna, Las Vueltas y Guarjila son de textura Franco arenoso y las ubicadas en Upatoro son de textura Franco arcillo arenoso.
- Los terrenos de las fincas donde se estableció esta investigación en el municipio de La Laguna tienen permeabilidad muy rápida y en los municipios de Las Vueltas y Chalatenango tienen permeabilidad lenta.
- La mayor altura de las plantas de maíz se obtuvo con el tratamiento 4 con una altura de 2.8 m, y la menor altura se obtuvo en los tratamientos 5 y 6 con 1.62 m.
- La mayoría de los suelos de las parcelas donde se realizó esta investigación presentan un pH dentro del rango óptimo de 5.5 a 7.8 para cultivar maíz.
- Todos los suelos de las parcelas donde se realizó la investigación presentan contenidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y cobre mayores a los niveles óptimos que demanda el cultivo del maíz.
- Los rendimientos en la producción de maíz en todas las fincas donde se realizó esta investigación se vieron afectados por la falta de lluvia en la época de floración del cultivo, que en algunos casos superó los 15 días consecutivos sin agua.

- El manejo agroforestal de no quema, manejo de rastrojos, arboles dispersos, cercas vivas y árboles al contorno de las parcelas de maíz que se realizó en años anteriores por el proyecto ABES influyó en la tolerancia de las plantas de maíz a la sequía que se presentó en la zona durante la investigación.

## **IX. Recomendaciones**

- Fertilizar al suelo del cultivo del maíz aplicando a cada planta una mezcla de 2.10 g de fórmula 15-15-15, 3.30 g de Sulfato de amonio y 62.50 g de Bocashi, realizando la primera fertilización a los 8 días después de la siembra y la segunda fertilización realizarla 15 días después de haber hecho la primera.
  
- Antes de establecer cualquier cultivo es necesario hacer análisis de suelo para conocer el contenido o déficit de elementos nutricionales.
  
- Continuar realizando investigaciones para evaluar diferentes tipos y dosis de fertilizantes químicos y orgánicos en el cultivo del maíz en otras regiones de El Salvador.
  
- Para disminuir los efectos de las canículas y sequías en el cultivo del maíz continuar implementando las prácticas agroforestales y construir reservorios para cosechar agua lluvia en las parcelas.

## X. Bibliografía

- Alas, L; Cáceres, I. 2010. Identificación y caracterización de zonas de recarga acuífera en el municipio de San Fernando, Chalatenango, El Salvador, C.A. Tesis Ing. Agr. El Salvador. 135 p.
- Angelone, S; Garibay, M; Cauhapé, M. 2006. Geología y Geotecnia permeabilidad de suelos. Argentina, Universidad Nacional de Rosario. 39 p.
- Bernier, R. 1987. Curso de capacitación para operadores del programa de recuperación de suelos degradados INDAP, décima región, Chile. 117 p.
- Bukele, R; Lozano, F; Molina, C. 2012. Análisis del deterioro de la agricultura en El Salvador a partir del proceso de liberalización económica de los 90. Tesis Lic. en Economía. El Salvador, C. A. UCA. 130 p.
- Cisneros, A. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. Tesis Dr. México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 164 p.
- Daniel, F; Jaramillo, J. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Colombia, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Medellín. 619 p.
- Deras, H. 2008. Híbridos de maíz de alta calidad proteica oro blanco y platino, El Salvador, C.A. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 16 p.
- Forsythe, W. 1985. Física de suelos (en línea). Costa Rica. Consultado 26 agosto del 2015. 211 p.
- García, E; Siles, P; Fonte, SJ; Barillas, R; Smukler, SM. 2016. Rendimiento de granos básicos y cobertura de suelo en cuatro sistemas de producción. Consultado 17 de Junio

de 2016. Disponible [http://ifsabesproj.sites.olt.ubc.ca/files/2016/05/Resultados-cosecha-ABES\\_Mesa-Tecnica2016.pdf](http://ifsabesproj.sites.olt.ubc.ca/files/2016/05/Resultados-cosecha-ABES_Mesa-Tecnica2016.pdf)

- Gonzáles, C. 2009. Manejo de la escorrentía y control de erosión en la finca. Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas. 16 p.
- González, T. 2007. El agricultor como manejador de los recursos naturales (en línea). Méx. Consultado 09 de diciembre de 2015. Disponible en <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj352/agricultormanejadorde recursosnaturales.pdf>
- Hinrich, L; Mcneal, B. 1993. Química del suelo. Editorial Limusa. México. 517 p.
- IICA (Instituto interamericano de cooperación para la agricultura). 1995. Maíz: sistemas de producción. Uruguay.188 p.
- Kearney, S. s. f. Measuring and valuing ecosystem services in relation to the establishment of a slash and mulch agroforestry system in El Salvador. The University of british Columbia, Vancouver, BC Canadá V6T 1Z4. Consultado 07 diciembre del 2018. Disponible en <http://sal-lab.landfood.ubc.ca/projects/sean-ecosystem-services>.
- Kolmans, E; Vásquez, D. 1999. Manual de agricultura ecológica. 2º ed. La Habana, Cuba. 163 p.
- López, R; Flores, A. s. f. Guía de laboratorio densidad aparente, densidad real y porosidad, El Salvador, C.A. Universidad de El Salvador.
- López, T. 1999. Sistemas agroforestales (en línea). México. Consultado 09 de diciembre de 2015. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>.

- MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 1993. Manual de métodos de análisis de suelos. El Salvador, C.A. 58 p.
- MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 1995. Guía técnica; programa granos básicos Cultivo de maíz. El Salvador, C.A. 21 p.
- MAG-CENTA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, EL Salvador). 2016. Anuario de estadísticas agropecuarias, El Salvador. El Salvador, C.A. 101 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018. Informe especial sequia meteorológica. El Salvador. Consultado 05 de febrero del 2019. Disponible en <http://www.marn.gob.sv/informe-especial-sequia-meteorologica>
- Meléndez, G; Soto, G. 2003. Taller de abonos orgánicos (en línea). Costa Rica. CATIE. Consultado 15 junio del 2015. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf>
- Murrell, S. 2009. Indicadores visuales de la deficiencia de potasio en maíz. 2009. Consultado 14 de octubre del 2018. Disponible en <http://www.ipni.net>
- Palacio, A; Afonso, P; Silva, R; Bautista, E; Posada, G; Val, R. 2003. Diagnóstico de riesgos por inundación para la ciudad de Campeche. México. 107 p.
- Palomeque, F. 2009. Sistemas agroforestales (en línea). México. Consultado 09 de diciembre de 2015. Disponible en <https://www.socla.co/wpcontent/uploads/2014/sistemas-agroforestales.pdf>

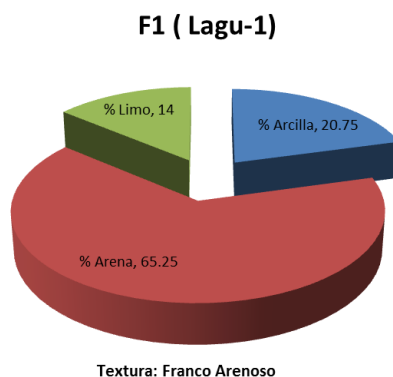
- PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente). 2006. Avanzando hacia el ecoturismo en La Mancomunidad La Montañona, Chalatenango. San Salvador, El Salvador, C.A. 28 p.
- Ramírez, R. 1997. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Colombia. 24 p.
- Restrepo, R. 1994. Plantas enfermas por el uso de agrotóxicos. Colombia. 45 p.
- Rubio, G. 2010. La densidad aparente en suelos (en línea). España. Consultado 15 de junio. de 2015. Disponible en <http://digital.csic.es>
- Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce de León, J; Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Uruguay, Universidad de La Republica Facultad de Agronomía. 68 p.
- Salamanca Jiménez, A. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Colombia. 381 p.
- USAID (Agencia de los Estados Unidos para El Desarrollo); CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, El Salvador); PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente); The Earth Institute Columbia University (Instituto de La Tierra Universidad de Columbia). 2014. Actualizaciones de análisis de B.L.A y El Proyecto LACREG. 15-27
- USAID (Agencia de los Estados Unidos para El Desarrollo); ABES (Agroforestería para la Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, El Salvador). 2015. Evaluación del suelo para la producción agrícola La Mancomunidad La Montañona. Consultado 17 de Junio de 2016. Disponible en <http://ifs-abesproj.sites.olt.ubc.ca/files/2015/04/BLA-Folleto-2VER5.pdf>



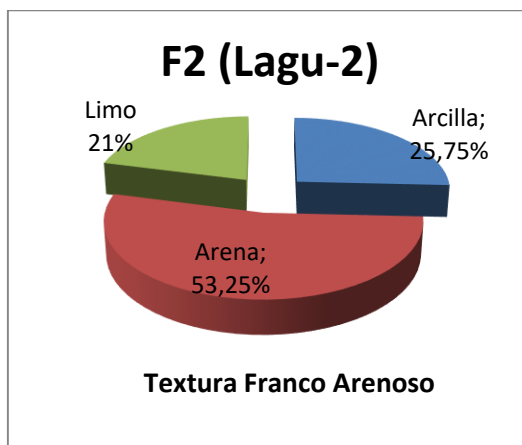
- Vega, J. 2007. Analisis de las potencialidades de los suelos de la comuna de melipilla, identificando zonas aptas para la disposición final de biosolidos, región metropolitana, Santiago, Chile. 194 p.
- Vieira, M; Ochoa, B; Fischler, M. 2000. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera. Holanda.136 p.
- Warren, F. 1975. Física de suelos. Editorial IICA. Costa Rica. 212 p.

## XI. Anexos

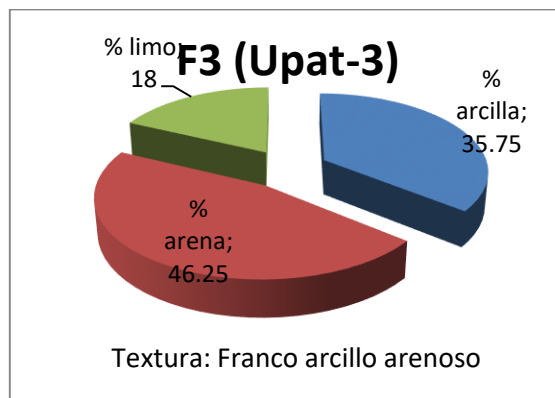
### Anexo 1. Textura del suelo en la finca 1.



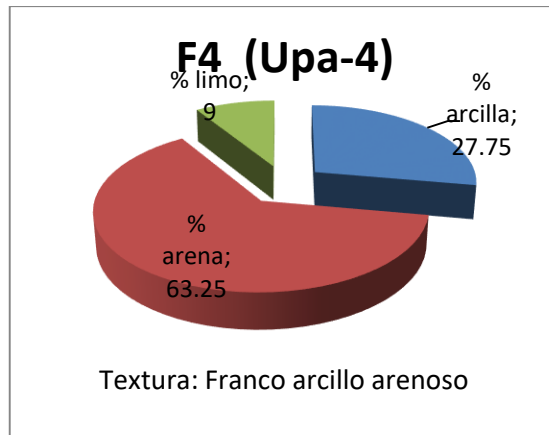
### Anexo 2. Textura del suelo en la finca 2.



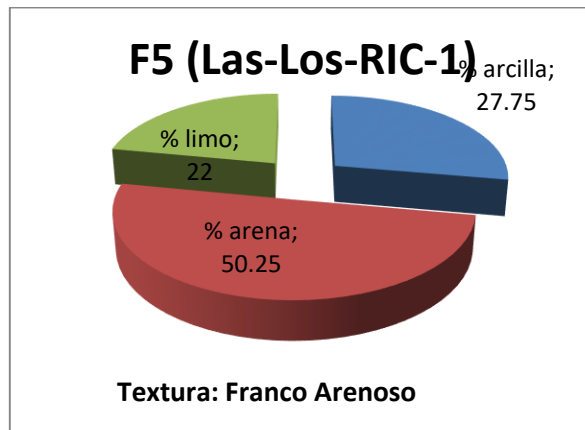
### Anexo 3. Textura del suelo en la finca 3.



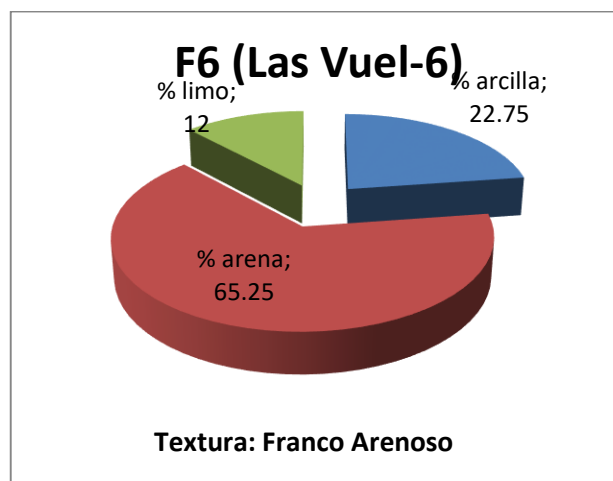
Anexo 4. Textura del suelo en la finca 4.



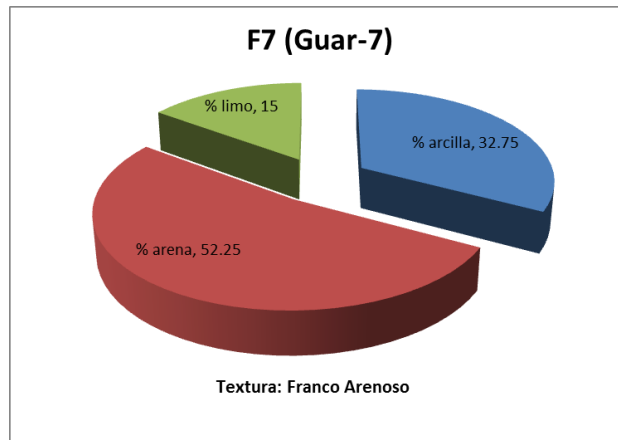
Anexo 5. Textura del suelo en la finca 5.



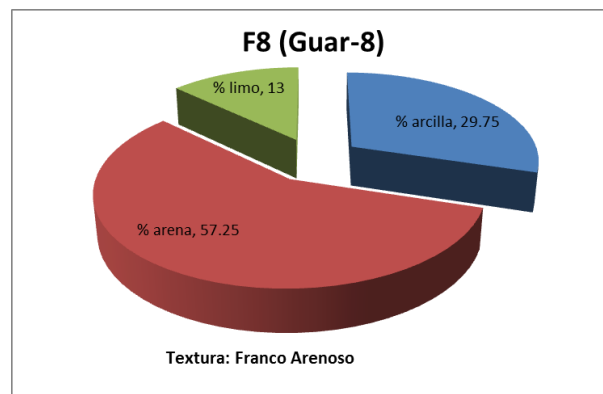
Anexo 6. Textura del suelo en la finca 6.



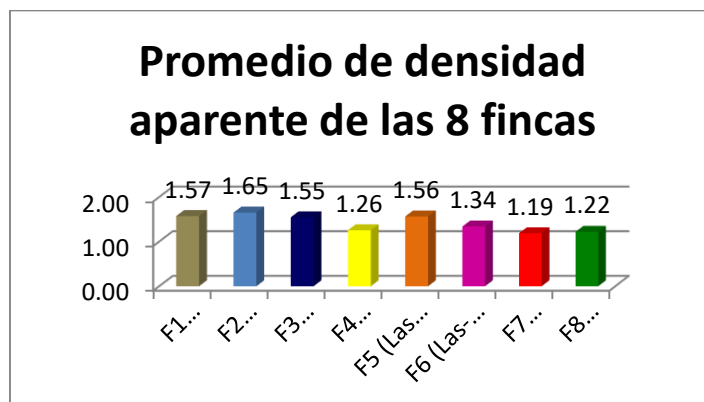
Anexo 7. Textura del suelo en la finca 7.



Anexo 8. Textura del suelo en la finca 8.



Anexo 9. Promedio de densidad aparente.



## Anexo 10. Resultados de los análisis de suelo en las parcelas experimentales



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



### RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 04 de diciembre de 2019.

Tipo de Muestra: Suelo

Análisis solicitado: pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre.

Usuario: Brenda García

#### RESULTADOS DE ANALISIS

##### Metodología

Muestra	Potenciométrico	Colorimétrico	Fotometría	Fotometría	AA-Llama	AA-Llama	AA-Llama
ID interno	pH	ppm Fósforo	% Potasio	ppm Calcio	ppm Magnesio	ppm Zinc	ppm Cobre
LAC 1	5.6	48.31	0.021	1250	372.25	1.83	<0.1
LAC 2	5.9	38.35	0.028	2125	617.25	1.47	<0.1
LAC 3	6.2	97.93	0.024	2250	499.63	1.83	<0.1
LAC 4	5.5	59.21	0.017	1000	131.25	4.12	<0.1
LAC 5	5.4	19.92	0.023	250	222.63	1.83	<0.1
LAC 6	5.7	38.91	0.018	1125	313.88	1.96	<0.1
LAC 7	5.4	54.51	0.028	1125	266.13	2.82	<0.1
LAC 8	5.4	30.45	0.019	750	171.88	2.18	<0.1
LAC 9	5.6	31.39	0.018	750	154.50	1.92	<0.1
LAC 10	5.3	32.52	0.014	750	161.50	2.07	<0.1
LAC 11	5.7	78.38	0.025	1625	389.50	2.35	<0.1
LAC 12	5.8	52.26	0.020	1500	360.13	3.93	<0.1
LAC 13	5.9	40.60	0.022	1375	332.00	2.60	<0.1
LAC 14	5.8	14.66	0.004	1000	442.63	1.41	<0.1
LAC 15	5.7	40.60	0.003	1250	520.50	2.77	<0.1
LAC 16	6.1	49.81	0.010	1500	421.38	2.36	<0.1
LAC 17	5.9	45.86	0.009	1500	452.88	2.39	<0.1
LAC 18	5.7	57.14	0.006	1625	374.88	1.79	<0.1
LAC 19	5.8	91.73	0.021	1875	355.00	2.19	<0.1
LAC 20	5.6	82.71	0.010	1500	297.88	1.91	<0.1
LAC 21	5.5	92.48	0.010	1625	351.50	1.73	<0.1
LAC 22	5.2	54.89	0.017	1000	182.75	4.10	<0.1
LAC 23	5.9	54.32	0.022	1500	319.13	2.57	<0.1
LAC 24	5.8	42.11	0.020	625	107.25	1.64	<0.1
LAC 25	6.0	43.61	0.013	750	142.00	1.67	<0.1
LAC 26	5.5	36.47	0.014	1000	416.88	1.85	<0.1
LAC 27	5.9	64.29	0.021	1125	119.75	1.98	<0.1

*F<sub>g</sub> (Suelo) →*  
*F<sub>s</sub> (Suelo) →*

*F<sub>s</sub> (Upatado) →*

*F<sub>u</sub> (Upatado) →*



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADOS DE ANALISIS

Metodología

Muestra	Potenciométrico	Colorimétrico	Fotometría	Fotometría	AA-Llama	AA-Llama	AA-Llama
ID interno	pH	ppm Fósforo	% Potasio	ppm Calcio	ppm Magnesio	ppm Zinc	ppm Cobre
LAC 28	6.0	90.04	0.019	2000	600.50	1.46	<0.1
LAC 29	6.2	82.71	0.051	2875	692.00	2.73	<0.1
LAC 30	6.4	76.50	0.060	2250	839.75	1.37	<0.1
LAC 31	6.3	86.65	0.050	2000	599.38	1.66	<0.1
LAC 32	6.0	83.65	0.019	1875	543.50	1.28	<0.1
LAC 33	6.2	91.17	0.023	2000	580.75	1.53	<0.1
LAC 34	5.4	94.92	0.012	1250	274.75	1.49	<0.1
<i>F<sub>2</sub> (La Hoja)</i> <i>F<sub>2</sub> (La Hoja)</i> LAC 35	5.5	82.71	0.011	1875	377.00	1.43	<0.1
<i>F<sub>2</sub> (La Hoja)</i> LAC 36	5.8	140.98	0.009	1375	139.63	2.00	<0.1
LAC 37	6.3	42.29	0.004	1250	131.88	1.53	<0.1
<i>F<sub>2</sub> (Las Hojas)</i> <i>F<sub>2</sub> (Las Hojas)</i> LAC 38	6.5	156.43	0.027	2875	504.38	1.10	<0.1
<i>F<sub>2</sub> (Las Hojas)</i> LAC 39	5.7	70.86	0.025	1500	93.38	0.64	<0.1
LAC 40	6.2	338.35	0.021	2250	268.50	0.59	<0.1
LAC 41	6.3	141.92	0.041	3000	425.25	4.39	<0.1
LAC 42	6.0	95.11	0.025	1500	279.13	2.85	<0.1
LAC 43	5.9	69.17	0.027	1625	468.88	2.11	<0.1
LAC 44	5.4	88.91	0.017	1500	188.25	1.76	<0.1

Analista: Ing. Agr. Flor de Maria López Hernández

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"

Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada  
Jefe del Departamento de Química Agrícola



Anexo 11. Boleta de campo para medir la infiltración.

Localidad:						Fecha:	
Tiempo (minutos)	Tiempo Acumulado (minutos)	Lámina de Infiltración (mm)	Lámina de Infiltración Acumulada (mm)	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup> Y <sub>i</sub>
<b>Total:</b>							

Anexo 12. Boleta de campo para medir la humedad del suelo.

Nombre del productor: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Tratamiento: \_\_\_\_\_

Hora	Tratamiento	Número de muestra	5 cm (TDR)	20 cm (TDR)	Distancia del árbol más cerca
<b>Inicio:</b> _____		1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		8			
<b>Final:</b> _____		9			

Anexo 13. Boleta de campo para medir la permeabilidad del suelo.

Localidad:		Fecha:
Altura nivel de agua constante (cm):		
Número	Tiempo (segundos)	Volumen agua drenado (cc)
1		
2		
3		
4		
5		



### Anexo 14. Ciclo morfológico del cultivo de maíz.

Nombre del productor, municipio y cantón:

---

Tratamiento: \_\_\_\_\_

Período	Sub período	Fenofase	Días	Observaciones
Fecha:				
Vegetativo	1. De siembra a emergencia	a) Fecha de siembra		
		Germinación		
Plagas que se observan y tratamiento aplicado				
Fecha:				
Perímetro del tallo	<input type="text"/>	Altura de la planta	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Color de la hoja:	<input type="text"/>	Número de hojas	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fecha:				
Perímetro del tallo	<input type="text"/>	Altura de la planta	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Color de la hoja	<input type="text"/>	Número de hojas	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Plagas que se observan y tratamiento aplicado				
Enfermedades, tratamiento aplicado al cultivo y dosis.				
Fecha:				
Diámetro del tallo	<input type="text"/>	Altura de la planta	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Color de la hoja	<input type="text"/>	Número de hojas	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Plagas que se observan y tratamiento aplicado				
Enfermedades, tratamiento aplicado al cultivo y dosis.				

Anexo 15. Ficha de campo para recolectar la cosecha de maíz.

**Ficha de Datos por la Cosecha de Parcelas LACREG**

Fecha:

Nombre del productor:

Código de finca:

Nombre del tomador de datos:

Datos de campo	
Mediciones de la parcelita de muestreo de la cosecha	
1) Distancia (m) de arriba a abajo (7 surcos):	<input type="text"/> m
2) Número de plantas (total) en la parcelita:	<input type="text"/>
3) Número de plantas sin cosecha en la parcelita:	<input type="text"/>
Mediciones en campo de la cosecha	
4) Número de mazorcas buenas:	<input type="text"/>
5) Número de mazorcas malas:	<input type="text"/>
6) Peso (kg) de mazorcas buenas:	<input type="text"/> kg

Datos en casa	
Mediciones en casa de la cosecha	
7a) Peso (g) de mazorcas buenas (6 mazorcas):	<input type="text"/> g
7b) Si hubo menos de 6 mazorcas, indicar el número:	<input type="text"/>
8) Peso (g) de grano bueno:	<input type="text"/> g
9) Peso (g) de grano malo:	<input type="text"/> g
Mediciones para calcular la humedad del grano	
10) Código de identificación de la jita:	<input type="text"/>
11) Peso (g) de la jita basilla:	<input type="text"/> g
12) Peso (g) de la jita con grano bueno y húmedo:	<input type="text"/> g
13) Peso (g) de la jita con grano bueno y seco:	<input type="text"/> g